

TUGAS AKHIR - RF141501

**PEMODELAN GEOSTATISTIK 3D PADA SEBARAN BATUAN
KARBONAT BERDASARKAN DATA RESISTIVITAS 2D (STUDI
KASUS: KECAMATAN JENU, KABUPATEN TUBAN)**

FAHRENZY YONA AISHA
NRP 3714100046

Dosen Pembimbing
Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1 001

Nita Ariyanti ST., M.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR – RF141501

**PEMODELAN GEOSTATISTIK 3D PADA SEBARAN BATUAN
KARBONAT BERDASARKAN DATA RESISTIVITAS 2D (STUDI
KASUS: KECAMATAN JENU, KABUPATEN TUBAN)**

**FAHRENZY YONA AISHA
NRP 0341144000046**

**DOSEN PEMBIMBING 1 :
Dr. DWA DESA WARNANA
NIP 19760123 200003 1 001**

**DOSEN PEMBIMBING 2 :
NITA ARIYANTI ST., M.Eng**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan



UNDERGRADUATE THESIS – RF141501

*3D GEOSTATISTICS MODELING IN CARBONATE ROCK
DISTRIBUTION BASED ON 2D RESISTIVITY DATA (CASE STUDY:
JENU, TUBAN)*

FAHRENZY YONA AISHA
NRP 03411440000046

SUPERVISOR 1st :
Dr. DWA DESA WARNANA
NIP 19760123 200003 1 001

SUPERVISOR 2nd :
NITA ARIYANTI ST., M.Eng

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil Engineering, Environment and Geoscience
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PEMODELAN GEOSTATISTIK 3D PADA SEBARAN BATUAN KARBONAT BERDASARKAN DATA RESISTIVITAS 2D (STUDI KASUS: KECAMATAN JENU, KABUPATEN TUBAN)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 25 Juli 2018

Menyetujui,

1. Dr. Dwa Desa Wamana (Pembimbing I)
NIP. 1976 0123 200003 1 001
2. Nita Ariyanti ST., M.Eng (Pembimbing II)
3. Anik Hilyah, S.Si., MT (Penguji I)
NIP. 19790813 2000812 2 002
4. Mariyanto, S.Si., MT (Penguji II)
NIP. 1991201711044

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si
NIP. 19591010 198803 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Pemodelan Geostatistik 3D Pada Sebaran Batuan Karbonat Berdasarkan Data Resistivitas (Studi Kasus: Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban)”** adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 24 Juli 2018



Fahrenzy Yona Aisha
Nrp 03411440000046

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PEMODELAN GEOSTATISTIK 3D PADA SEBARAN BATUAN
KARBONAT BERDASARKAN DATA RESISTIVITAS 2D (STUDI
KASUS: KECAMATAN JENU, KABUPATEN TUBAN)**

Nama Mahasiswa : Fahrenzy Yona Aisha
NRP : 03411440000046
Departemen : Teknik Geofisika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Dwa Desa Wanana
Nita Ariyanti ST., M.Eng

ABSTRAK

Metode Geofisika memainkan peran yang penting dalam bidang ilmu kebumihan, terutama dalam menentukan struktur bumi. Dalam dunia eksplorasi, metode geofisika digunakan untuk mengestimasi sebaran sifat fisika material penyusun bumi tidak terkecuali metode geolistrik. Umumnya, metode geolistrik dilakukan untuk mengestimasi struktur bumi dalam 1D dan 2D. Seiring berjalannya waktu, kebutuhan terhadap data keadaan bawah permukaan yang lebih terkarakterisasi dengan detail dan menerus semakin meningkat. Sementara, harga yang tinggi saat melakukan akuisisi geolistrik 3D terkadang menjadi kendala dalam eksplorasi. Oleh sebab itu, diperlukan hasil penampang yang mendekati kondisi riil-nya yakni pemodelan dalam bentuk 3D berdasarkan data 2D. Untuk dapat memprediksi pola sebaran data di antara titik ukur atau antara penampang, diperlukan aplikasi metode geostatistik. Metode Geostatistik yang digunakan adalah kriging dan *Two Point Statistic* (TPS). Sementara itu, untuk validasi model volumetrik dilakukan integrasi dengan nilai *Standard Penetration Test* (N-SPT) untuk melihat korelasi spasial antar model. Data kemudian dilakukan interpretasi secara kualitatif dengan mengintegrasikan dengan kondisi geologinya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pseudo 3D resis yang dapat menggambarkan bawah permukaan secara 3D dari data 2D. Kombinasi antara hasil dari survei geofisika dan geologi ini dapat menghasilkan persebaran distribusi karbonat di daerah penelitian yakni Kabupaten Tuban, Kec. Jenu. Perbandingan antar metode dilakukan dengan memvalidasi data dengan bor N-SPT pada tiap variasi lintasan. Sehingga menghasilkan model 3D metode TPS lebih sesuai dengan spasial N-SPT dibandingkan dengan model 3D metode kriging. Kemudian, berdasarkan model persebaran karbonat mengindikasikan bahwa lingkungan penelitian ini memiliki jenis karbonat *reefal* dengan kombinasi batuan gamping dan dolomit.

Kata kunci : Geostatistika, Resistivitas 2D, *Pseudo* 3D

Halaman ini sengaja dikosongkan

**3D GEOSTATISTICS MODELING IN CARBONATE ROCK
DISTRIBUTION BASED ON 2D RESISTIVITY DATA (CASE STUDY:
JENU, TUBAN)**

Student Name : Fahrenzy Yona Aisha
NRP : 03411440000046
Departement : Teknik Geofisika FTSLK-ITS
Supervisors : Dr. Dwa Desa Wanana
Nita Ariyanti ST., M.Eng

ABSTRACT

Geophysical methods play an important role in the field of earth science, especially in determining the structure of the earth. In the world of exploration, geophysical methods are used to estimate the distribution of the physical properties of the constituent materials of the earth, not to mention geoelectric methods. Generally, geoelectric methods are performed to estimate the earth's structures in 1D and 2D. As time passes, the need for more characteristic subsurface data with more detail and continuous increases. Meanwhile, high prices when acquiring 3D geoelectrical sometimes become obstacles in exploration. Therefore, we need a near-real-world cross-section of 3D modeling based on 2D data. To be able to predict the pattern of data distribution between a measuring point or between cross sections, an application of geostatistical methods is required. Geostatistics method used is kriging and Two Point Statistic. Meanwhile, for the validation of the volumetric model, integration with the Standard Penetration Test (SPT) is performed to see the spatial correlation between models. The data are then interpreted qualitatively by integrating with the geological conditions. The purpose of this research is to know pseudo-3D resistivity that can describe the surface of 3D from 2D data. The combination of the results of geophysical and geological surveys can result in the distribution of carbonate distribution in the research area of Tuban Regency, Dist. Jenu. Comparison between methods is done by validating the data with N-SPT drill on each track variation. So as to produce 3D model of TPS method more in line with spatial N-SPT compared with 3D model of kriging method. Then, based on the carbonate distribution model, it indicates that the study environment has reefal carbonate type with a combination of limestone and dolomite.

Wordkey : Geostatistical, Resistivity 2D,Pseudo 3D

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat dan ridho-Nya Sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Pemodelan Geostatistik 3D Pada Sebaran Batuan Karbonat Kabupaten Tuban Berdasarkan Data Resistivitas 2D” dapat terselesaikan.

Pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua penulis dan juga keluarga atas dukungan dan doa yang selalu ditujukan kepada penulis selama kuliah terutama selama menjalani Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Dwa Desa Wanana, Ibu Nita Ariyanti ST., M.Eng dan Bapak Firman Syaifuddin, S.Si, M.T selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan kesabaran dan waktu hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen dan pegawai administrasi Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
4. M. Irsyad Hibatullah dan Triswan Mardani Ade Surya S.T, yang selalu memberi masukan, saran dan ide penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2014 atas dukungannya, yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan pada pelaksanaan tugas akhir ini
6. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis, terima kasih banyak atas doa dan dukungannya.

Semoga Allah membalas semua kebaikan semua pihak. Penulis menyadari tentunya penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 25 Juni 2018

Penulis,

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Tinjauan Geologi.....	6
2.2.1 Stratigrafi Regional Tuban	7
2.3 Metode Geolistrik Resistivitas	9
2.4 Metode Geostatistika.....	13
2.4.1 Varian	14
2.4.2 Variogram	15
2.5 Kriging	20
2.6 Two Point Simulation.....	21
2.7 Batuan Karbonat.....	22
2.8 Standard Penetration Test.....	23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2 Data Penelitian.....	25
3.3 Alat dan Software	26
3.4 Tahapan Penelitian.....	26
3.5 Pengolahan Data Resistivitas 2D	28
3.5.1 Hasil Inversi Penampang Resistivitas 2D.....	28
3.6 Model 3D	29
3.6.1 Kriging.....	32
3.6.2 <i>Sequential Gaussian Simulation</i>	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Analisa Hasil <i>Res2dinv</i>	39
4.2 Analisa Data Model 3D	40
4.3 Analisa Model 3D dengan Geologi dan data SPT	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	55
BIODATA DIRI.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Stratigrafi cekungan utara jawa(Rutley, 2001)	9
Gambar 2. 2 Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas ρ (Telford dkk., 1990).....	11
Gambar 2.3 Pola aliran arus dan bidang ekipotensial antara dua elektroda arus dengan polaritas berlawanan(Bahri dkk., 2017)	12
Gambar 2. 4 Grafik variogram eksperimental(Wibowo, 2009)	16
Gambar 2. 5 Grafik Model Variogram Spherical(Wibowo, 2009)	17
Gambar 2. 6 Grafik Model Variogram Gaussian(Wibowo, 2009).....	18
Gambar 2. 7 Grafik Model Variogram Eksponensial(Wibowo, 2009)	18
Gambar 2. 8 Grafik Model Variogram Linear(Wibowo, 2009).....	19
Gambar 2. 9 Komponen-komponen dalam variogram(Wibowo, 2009)	19
 Gambar 3. 1 Gambar desain akuisisi daerah penelitian	25
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3. 3 Penampang Resistivitas 2D Line 1	28
Gambar 3. 4 Penampang Resistivitas 2D line 2.....	28
Gambar 3. 5 Penampang Resistivitas 2D line 4.....	28
Gambar 3. 6 Penampang Resistivitas 2D line 10.....	28
Gambar 3. 7 Penampang Resistivitas 2D line 15.....	29
Gambar 3. 8 Penampang Resistivitas 2D line 22.....	29
Gambar 3. 9 Penampang Resistivitas 2D Line 31	29
Gambar 3. 10 Penampang Resistivitas 2D Line 42	29
Gambar 3. 11 input data pada software petrel	30
Gambar 3. 12 Gambar desain akuisisi pada petrel.....	30
Gambar 3. 13 Gambar Pembuatan Variogram.....	31
Gambar 3. 14 Hasil dari Data analisis	31
Gambar 3. 15 Gambar 43 lintasan	32
Gambar 3. 16 Model 3D 43 lintasan dengan metode kriging	32
Gambar 3. 17 Gambar kiri merupakan hasil intersection, kemudian gambar kanan atas merupakan gambar model 3D dari barat dan bawahnya dari timur	33
Gambar 3. 18 gambar salah satu intersection inline dari model 3D	33
Gambar 3. 19 lintasan	33
Gambar 3. 20 Gambar 3D.....	33
Gambar 3. 21 Gambar Intersection.....	34
Gambar 3. 22 Gambar overlay dengan peta.....	34
Gambar 3. 23 Gambar 3D oberlay dengan peta.....	34

Gambar 3. 24 Gambar Lintasan	34
Gambar 3. 26 Gambar 3D	34
Gambar 3. 25 Gambar Intersection	34
Gambar 3. 27 Gambar Intersection	35
Gambar 3. 28 Gambar Lintasan	35
Gambar 3. 29 Gambar 3D	35
Gambar 3. 30 Gambar Overlay	35
Gambar 3. 31 Gambar Inline dari salah satu intersection.....	36
Gambar 3. 32 Gambar overlay	36
Gambar 3. 33 gambar Lintasan	36
Gambar 3. 34 Gambar 3D	36
Gambar 3. 35 Gambar Intersection	36
Gambar 3. 36 Gambar Overlay	37
Gambar 3. 37 Gambar Lintasan	37
Gambar 3. 39 Gambar 3D	37
Gambar 3. 38 Gambar Intersection	37
 Gambar 4. 1 Hasil 2D inversi pada software <i>res2dinv</i>	39
Gambar 4. 2 Hasil data analisis resistivitas 2D	40
Gambar 4. 3 Parameter variogram untuk metode geostatistik.....	41
Gambar 4. 4 Hasil pemodelan 3D metode geostatistika tiap variasi jumlah lintasan	42
Gambar 4. 5 Peta persebaran nilai resistivitas tinggi tiap variasi	43
Gambar 4. 6 Hasil Korelasi model geostatistik dan N-SPT	44
Gambar 4. 7 Korelasi SPT (BH 6) dengan section 11 lintasan.....	45
Gambar 4. 8 Korelasi SPT (BH 6) dengan section 43 lintasan.....	45
Gambar 4. 9 Korelasi SPT (BH 6) dengan section 21 lintasan.....	46
Gambar 4. 10 Korelasi SPT (BH 7) dengan section 43 lintasan.....	46
Gambar 4. 12 Korelasi SPT (BH 7) dengan section 11 lintasan.....	47
Gambar 4. 11 Korelasi SPT (BH 7) dengan section 21 lintasan.....	47
Gambar 4. 13 Peta persebaran nilai resistivitas per kedalaman hasil model 3D	48
Gambar 4. 14 Proses dolomitisasi pada pantai	49
Gambar 4. 15 Kondisi daerah akuisisi.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Potensi Persebaran Batuan Kapur(Al Majid dan Muljo, 2017).....	6
Tabel 2. 2 Variasi resistivitas material bumi(Telford dkk., 1990)	13
Tabel 2. 3 Hubungan antara harga N dengan kepadatan relative(LH, 1994)	23
Tabel 4. 1 Interpretasi litologi batuan dengan nilai jangkauan resistivitas	39

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Pendeteksian di atas permukaan meliputi pengukuran medan potensial, arus dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Metode geolistrik resistivitas merupakan metode geolistrik yang mempelajari sifat resistivitas (tahanan jenis) listrik dari lapisan batuan di dalam bumi. Metode ini termasuk metode yang tidak alami (pasif), sebab dalam metode ini dibutuhkan injeksi arus listrik ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan dilakukan pengukuran beda potensial melalui dua buah elektroda potensial, namun hasil dari metode ini hanyalah penampang 2D (Ward, 1990).

Seiring perjalanan waktu, ekspektasi terhadap hasil penyelidikan keadaan bawah permukaan yang mendekati kondisi riil-nya, semakin meningkat. Pelaku dalam bidang eksplorasi bawah permukaan tidak hanya menghendaki suatu gambaran global suatu area, tetapi detail dari area tersebut. Integrasi antara analisa geologi, survei geoteknik dan juga survei geofisika merupakan salah satu jawaban terhadap persoalan tersebut. Karena analisa geologi, merupakan suatu analisa yang didasarkan pada observasi serta geoteknik dan geofisika yang hanya dilakukan pada area tertentu saja, tentunya data ini pun tidak dapat dilakukan di setiap titik pada area penelitian. Sehingga diperlukannya penghubung antar titik-titik sampel data suatu survei yakni menggunakan geostatistika (Guo dkk., 2014).

Rekonstruksi data geolistrik resistivitas 2D menjadi 3D dapat dilakukan menggunakan pendekatan geostatistika dan dengan dilengkapi oleh data-data yang lain seperti N-SPT (*N-Standard penetration test*) dan juga geologi sebagai penunjang kredibilitas model 3D tersebut. Pendekatan geostatistika yang pertama adalah yang paling umum digunakan yaitu krigging. Kemudian *Gaussian simulation algorithm* yang menggunakan dua titik statistik berbasis variogram dan algoritma- algoritma lain yang memanfaatkan konsep statistik dengan banyak titik. Dalam penelitian tugas akhir ini akan digunakan pendekatan TPS dan krigging untuk mendapatkan gambaran 3D bawah permukaan yang tepat.

Kabupaten Tuban merupakan salah satu Kabupaten yang berada dipesisir pantai utara Pulau Jawa. Sebagai daerah yang berada dalam cekungan Jawa Timur bagian utara dan dimungkinkan sebagai wilayah potensial terdapatnya berbagai sumberdaya mineral. Sementara itu, lajur pada daerah Tuban ini pada umumnya merupakan endapan paparan yang kaya akan batuan karbonat dan jarang dijumpai endapan piroklastik. Lipatan dan sesar dapat diamati pada batuan Oligo-Miosen sampai Pliosen. Umumnya sumbu antiklin

berarah baratlaut-tenggara dengan sudut kemiringan antara 10 sampai 30 derajat dan berkembang pada formasi Kujung dan Tuban. Sesar terdapat pada batuan sedimen berumur Oligo-Miosen sampai Pliosen dan umumnya berarah timurlaut-baratdaya dan baratlaut-tenggara. Sejarah geologi daerah pemetaan diperkirakan mulai pada kala Oligo-Miosen dimana pada kala tersebut daerah ini merupakan suatu cekungan. Kemudian formasi Kujung diendapkan yang kaya akan batuan karbonat dengan lingkungan pengendapan laut dangkal sampai dalam (Hartono dan Suharsono, 1997). Dengan berbagai kejadian geologi seperti diatas maka daerah tuban menjadi daerah yang menarik untuk dilakukan penelitian distribusi karbonat sehingga dapat dilakukan rekonstruksi kejadian geologi pada daerah Kabupaten Tuban, khususnya Kecamatan Jenu.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil dari pemodelan resistivitas 3D berdasarkan aplikasi metode geostatistik TPS (*Two Point Statistic*) serta kriging pada pemodelan 3D?
2. Bagaimana identifikasi persebaran karbonat daerah Tuban Kecamatan Jenu berdasarkan hasil pemodelan 3D dan data N-SPT

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan gambaran konseptual geologi 3D berdasarkan data resistivitas 2D dengan menggunakan metode TPS (*Two Point Statistic*) serta kriging.
2. Untuk mendapatkan pemetaan distribusi karbonat Kabupaten Tuban Kecamatan Jenu berdasarkan kombinasi model 3D dan data N-SPT

1.4 Batasan Masalah

Tugas Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. penelitian ini hanya akan membandingkan pemodelan 3D *resistivity* dengan metode TPS (*Two Point Statistic*) dan kriging
2. Parameter variogram yang digunakan merupakan variogram yang umum yakni variogram spherical untuk semua simulasi
3. Data yang digunakan merupakan data primer resistivitas 2D, dan data N-SPT akuisisi pada daerah Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban
4. Peta geologi regional daerah Kabupaten Tuban Provinsi Jawa Timur.

1.5 Manfaat

Dalam penelitian ini, manfaat yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut

1. Mengetahui dan memahami aplikasi metode geostatistik dalam pemodelan 3D berdasarkan data N-SPT
2. Mengetahui dan memahami langkah-langkah pemodelan berdasarkan data *resistivity*
3. Mengetahui pola distribusi karbonat sebagai informasi penting dalam rencana pembangunan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Adapun hasil penelitian sebelumnya dari berbagai sumber, guna memvalidasi dan melihat perubahan hasil dari tahun ke tahun. Penelitian ini sendiri menggunakan berbagai metode serta dalam jangkauan wilayah yang lebih luas. Berikut adalah hasil pemetaan potensi batuan kapur menggunakan citra satelit landsat 8 di Kabupaten Tuban. Dengan penulis Dhiyaulhaq Al Majid dan Bangun Muljo Sukojo dengan menggunakan kemajuan teknologi dibidang inderaja, perhitungan estimasi potensi batu kapur dapat dilakukan dengan menggunakan data citra satelit Landsat 8 dan sistem informasi geografis. Penelitian ini diharapkan nantinya bisa dijadikan sebagai data spasial dengan metode yang lebih cepat dan efisien dalam perhitungan estimasi potensi batuan kapur.

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Secara geografis terletak pada koordinat 111° 30' - 112° 35 BT dan 6° 40' - 7° 18' LS. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi batuan kapur di Kabupaten Tuban. Parameter yang digunakan untuk identifikasi potensi batu kapur pada penelitian ini ada 4 yaitu tutupan lahan, suhu permukaan, indeks vegetasi, dan unsur geologi. Peta potensi batuan kapur dibuat dengan melakukan *overlay* terhadap empat peta yaitu peta tutupan lahan, peta suhu permukaan, peta indeks vegetasi dan peta geologi.

Pembuatan peta tutupan lahan dilakukan dengan menggunakan *supervised classification : maximum likelihood*, serta menghitung matriks konfusi dan melakukan pengharkatan. Kemudian, Pembuatan peta suhu permukaan dilakukan dengan menggunakan algoritma *Land Surface Temperature (LST)*, serta dilakukan klasifikasi dan pengharkatan. Pembuatan peta indeks vegetasi dilakukan dengan menggunakan algoritma NDVI, serta dilakukan klasifikasi dan pengharkatan. Dan untuk Data unsur Geologi didapatkan dalam format shapefile kemudian dilakukan pengharkatan pada data yang tersedia.

Overlay dilakukan dengan menggunakan metode *intersect* dilanjutkan dengan perhitungan jumlah harkat dan klasifikasi ulang sesuai interval yang ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{interval} = \frac{\text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}}{\text{banyak kelas}}$$

Dilakukan *overlay* terhadap empat peta yang telah diberikan harkat yaitu peta tutupan lahan, peta suhu permukaan, peta indeks vegetasi dan peta geologi agar mendapatkan peta potensi batuan kapur. Reklasifikasi dilakukan dengan membagi menjadi 5 kelas potensi batuan kapur. Data Dari hasil klasifikasi didapatkan luas masing-masing kelas potensi batuan kapur seperti tabel 2.1

Tabel 2. 1 Klasifikasi Potensi Persebaran Batuan Kapur (Al Majid dan Muljo, 2017)

Kategori	Luas (ha)	%
Potensi Sangat Rendah	20267,90	10,29
Potensi Rendah	45921,29	23,32
Potensi Sedang	64514,36	32,76
Potensi Tinggi	33511,54	17,02
Potensi Sangat Tinggi	32709,36	16,61

Maka, berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan yakni Kabupaten Tuban didominasi oleh tingkat potensi sedang dengan luas 64514,36 ha, sedangkan untuk tingkat potensi sangat rendah 20267,90 ha, potensi rendah 45921,29 ha, potensi tinggi 33511,54 ha dan sangat tinggi 32709,36 ha. Selain itu, Tiga Kecamatan yang memiliki daerah luasan paling besar untuk potensi sangat tinggi adalah Kecamatan Kerek, Kecamatan Montong dan Kecamatan Merakurak dengan luasan 7423,00 ha, 5641,67 ha dan 5255,72 ha.

2.2 Tinjauan Geologi

Kabupaten Tuban merupakan salah satu Kabupaten yang berada dipesisir pantai utara Pulau Jawa, tepatnya di Jawa Timur, berbatasan langsung dengan Kabupaten Lamongan, di sebelah timur, Kabupaten Bojonegoro, di sebelah selatan dan Kabupaten Blora dan Kabupaten Rembang, Jawa Tengah, di sebelah Barat. Sebagai daerah yang berada dalam cekungan Jawa Timur bagian utara dan dimungkinkan sebagai wilayah potensial terdapatnya berbagai sumberdaya mineral (Al Majid dan Muljo, 2017).

Secara geografis daerah Tuban terletak pada 111°30' - 112°35' BT 6°40' - 7°18' LS memiliki luas daratan seluas 183.994.562 Ha (3,8% dari luas Wilayah Profinsi Jawa Timur). Adapun kondisi geologi Tuban jika ditinjau dari komposisi tanahnya ialah: Mediteran merah kuning, berasal dari endapan batu kapur di daerah bukit sampai gunung (38%) dari luas wilayah, terdapat di Kecamatan Semanding, Montong , Kerek, Palang, Jenu, sebagian Tambakboyo, Widang, Plumpang dan Merakurak; Alluvial, berasal dari endapan didaerah daratan dan cekungan (34% dari luas wilayah, terdapat di Kecamatan Tambakboyo, Bancar, Tuban, Palang, Rengel, Soko, Parengan, singgahan, Senori dan Bangilan; Grumusol, Berasal dari endapan batuan di daerah yang bergelombang (5% dari luas wilayah) terdapat dikecamatan Bancar, jatirogo, dan Senori.

Sementara itu, lajur pada daerah Tuban ini pada umumnya merupakan endapan paparan yang kaya akan batuan karbonat dan jarang dijumpai endapan piroklastik. Lipatan dan sesar dapat diamati pada batuan Oligo-Miosen sampai Pliosen. Umumnya sumbu antiklin berarah baratlaut-tenggara dengan sudut kemiringan antara 10 sampai 30 derajat dan berkembang pada formasi Kujung dan Tuban. Sesar terdapat pada batuan sedimen berumur Oligo-Miosen sampai Pliosen dan umumnya berarah timurlaut-baratdaya dan baratlaut-tenggara.

Sejarah geologi daerah pemetaan diperkirakan mulai pada kala Oligo-Miosen dimana pada kala tersebut daerah ini merupakan suatu cekungan. Kemudian formasi Kujung diendapkan yang kaya akan batuan karbonat dengan lingkungan pengendapan laut dangkal sampai dalam. Pada kala Miosen Tengah mulai terjadi fase regresi yang disebabkan aktifitas tektonik intra-Miosen, di daerah ini berkaitan dengan pengendapan batupasir kuarsa anggota Ngrayong formasi Tuban dengan lingkungan pengendapan litoral atau dekat pantai. Kemudian suatu fase transgresi terjadi lagi pada kala Pliosen dimana diendapkan formasi Paciran yang terletak tak selaras diatas formasi Tuban. Formasi ini tersebar cukup luas dan didominasi oleh batugamping dengan lingkungan laut dangkal. Pada kala Plistosen terjadi fase regresi yang disebabkan orogenesis Plio-Plistosen. Formasi Kabuh diendapkan yang terdiri dari batupasir vulkanik dan konglomerat yang berlingkungan darat dan terletak tidak selaras di atas formasi Paciran (Hartono dan Suharsono, 1997).

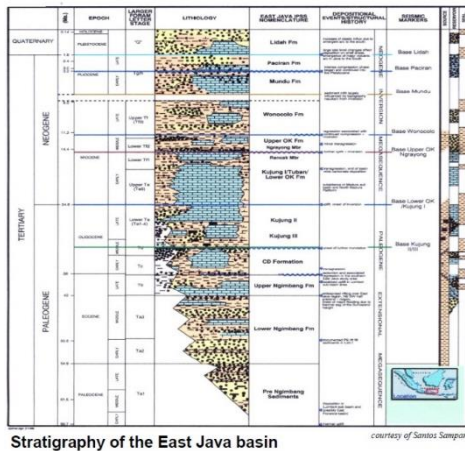
2.2.1 Stratigrafi Regional Tuban

Daerah penelitian terletak pada salah satu kecamatan di Kabupaten Tuban yakni Jenu. Lintasan akuisisi terletak pada formasi paciran (Tpp) dengan jumlah yang banyak, sementara sisanya terletak pada dormasi alluvial (Qa) (Gambar 3.1). Namun, untuk mengetahui secara umum daerah penelitian maka berikut terdapat susunan stratigrafi dan juga batuan penyusun daerah Tuban. Stratigrafi regional lembar Tuban disusun oleh satuan endapan permukaan dan satuan batuan sedimen. Berikut pemerian satuan batuan penyusun lembar Tuban yang diurutkan dari muda ke tua dan dapat dilihat pada gambar 2.1:

- Aluvial pantai (*Qa*): terutama endapan dataran pantai pada muara sungai tercampur dengan endapan aluvial yang terdiri dari lempung, lanau, pasir dan kerikil.
- Aluvial sungai (*Qr*): endapan dataran banjir dari sungai Bengawan Solo terdiri dari lumpur, lanau, pasir, kerikil dan kerakal.

- Kolovium (*Qc*): bahan-bahan berasal dari rombakan formasi Tuban dan formasi Paciran.
- Batugamping (*Qt*): endapan cangkang-cangkang Ballanus yang teruraikan dan agak kompak.
- Formasi Kabuh (*Qpk*): batupasir gunungapi dan konglomerat. Sulit dibedakan dari endapan dataran banjir Bengawan Solo.
- Formasi Paciran (*Tpp*): terdiri atas batugamping, batugamping dolomitan dan dolomit. Berwarna putih, kelabu, coklat dan kemerahan, organik dengan fragmen alga, koral, foraminifera besar dan moluska. Kerakal lempungan berwarna coklat, mungkin mengandung fosfat, terdapat dibagian bawah. Ketebalan diperkirakan 100-750 meter.
- Anggota Ngrayong formasi Tuban (*Tmtn*): tersusun atas batupasir kuarsa yang berselingan dengan batulempung pasir dan batugamping.
- Formasi Tuban (*Tmt*): tersusun atas batulanau, berwarna kelabu, hijau dan kelabu kekuningan dengan selingan batugamping pasir lempungan. Setempat mengandung kongkresi dan batulempung gampingan besian. Ketebalan diperkirakan 600 meter.
- Anggota batulanau formasi Kujung (*Tomka*): tersusun atas batulanau, sebagian gampingan dan lempungan. Dibagian bawah lapisan-lapisan tipis batulempung berwarna kelabu kehijauan, gampingan, berlapis tipis, mengandung foraminifera besar, *Pelecypoda* kecil, *Gastropoda* dan sisa tanaman, kongkresi dolomit besian dan pirit. Tebal satuan ini lebih dari 700 meter.
- Batugamping Prupuh anggota formasi Kujung (*Tomp*): batugamping kompak, tersemenkan dengan baik, membentuk singkapan-singkapan yang tahan, bongkah-bongkah besar tersebar dipermukaan. Selingan-selingan napal dan batulempung tidak tersingkap dan hanya diketahui dari sumur-sumur dan lubang pengeboran. Mengandung banyak foraminifera *Orbitoid* dan beberapa koral. Tebal satuan ini 70-80 meter.
- Anggota batulempung formasi Kujung: batulempung sebagian gampingan dengan perselingan batulanau lempungan berwarna kelabu muda, lapisan-lapisan tipis napal berwarna kelabu sangat muda dan setempat batupasir gampingan berbutir halus, banyaknya dan kekerasan dari lapisan-lapisan napal bertambah dibagian atas. Cangkang foraminifera juga lebih banyak di bagian atas, lapisan-lapisan batugamping mengandung kongkresi lensa-lensa gampingan dan beberapa nodul pirit yang bagian-bagiannya yang lapuk bereaksi dengan kalsit dan membentuk gypsum di jalur lapuk. Tebal satuan ini diperkirakan 600 meter.

- Anggota napal formasi Kujung (*Tomkm*): napal berwarna kelabu dan kelabu kehijauan dengan selingan batugamping (kalkarenit) dan batupasir. Batugamping berwarna kuning muda setempat kemerahan dan kelabu, berbutir kasar-halus, organik dengan cangkang foraminifera, *Bryozoa* dan alga. Batugamping kalkarenit terdiri dari sisa fosil, setempat mengandung butir-butir kuarsa dan dijumpai struktur cross bedding. Batupasir berbutir halus, berwarna merah, terdiri dari butir-butir kuarsa bersudut, fragmen-fragmen batugamping dan fosil. Tebal satuan ini lebih dari 650 meter.



Gambar 2. 1 Stratigrafi cekungan utara jawa(Rutley, 2001)

2.3 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Pendeteksian di atas permukaan meliputi pengukuran medan potensial, arus dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Dalam penelitian ini, pembahasan dikhususkan pada metode geolistrik resistivitas. Metode geolistrik resistivitas merupakan metode geolistrik yang mempelajari sifat resistivitas (tahanan jenis) listrik dari lapisan batuan di dalam bumi. Metode ini termasuk metode yang tidak alami (pasif), sebab dalam metode ini dibutuhkan injeksi arus listrik ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan dilakukan pengukuran beda potensial melalui dua buah elektroda potensial(Ward, 1990).

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam eksplorasi geolistrik. Metode ini digunakan untuk

menggambarkan keadaan bawah permukaan dengan mempelajari resistivitas listrik dari lapisan batuan di dalam bumi, dimana bumi tersusun atas batuan yang memiliki daya hantar listrik yang berbeda-beda. Pada metode ini, arus listrik dialirkan ke dalam lapisan bumi melalui dua buah elektroda potensial. Dengan diketahuinya harga arus potensialnya maka bisa ditentukan nilai resistivitasnya. Data yang diperoleh di lapangan merupakan data nilai resistivitas bawah permukaan (Loke, 2011).

Pada prinsipnya metode geofisika digunakan untuk mengetahui perubahan resistivitas lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (Direct Current) yang dialirkan ke bawah permukaan tanah melalui dua elektroda arus. Kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial (John M. Reynolds, 1997). Setelah besar arus dan besar potensial yang dihasilkan terukur, maka resistivitas bawah permukaan dapat dihitung. Untuk mengetahui persamaan umum untuk mencari nilai resistivitas perlu diketahui hubungan antara rapat arus dan intensitas medan listrik berdasarkan Hukum OHM yang dapat dilihat dibawah ini:

$$J = \sigma \cdot E \quad (2.1)$$

Dimana,

$$J = \frac{I}{A} = \text{Rapat arus}$$

$$\sigma = \text{Konduktivitas medium}$$

$$E = \frac{V}{L} = \text{Induktansi meda}$$

Maka, didapatkan persamaan umum untuk menentukan resistivitas suatu medium homogen, seperti

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = R \frac{A}{L} \quad (2.2)$$

Dimana,

$$\rho = \text{Resistivitas mineral } (\Omega\text{m})$$

$$L = \text{Panjang (m)}$$

$$R = \text{Tahanan yang diukur } (\Omega)$$

$$A = \text{Luas penampang (m}^2\text{)}$$

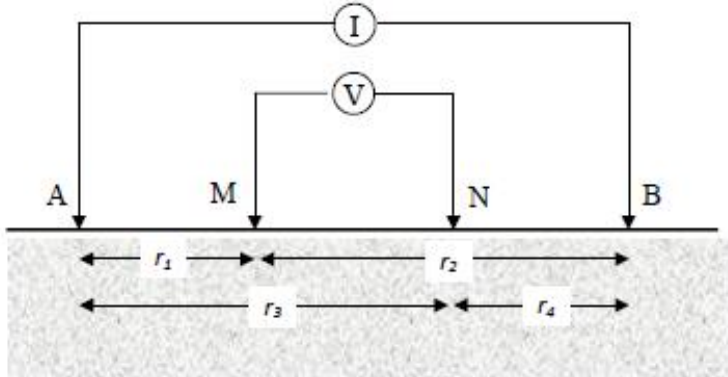
Karena $R = \frac{\Delta V}{I}$, maka diperoleh

$$\rho = \frac{\Delta V \cdot A}{I \cdot L} \quad (2.3)$$

Dimana,

$$\Delta V = \text{Beda potensial}$$

$$I = \text{Kuat arus yang dilalui bahan (Ampere)}$$



Gambar 2. 2 Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas ρ (Telford dkk., 1990)

Sementara itu, apabila terdapat dua elektroda arus C_1 yang terletak pada permukaan suatu medium homogen, terangkai dengan elektroda arus C_2 dan diantaranya ada dua elektroda potensial P_1 dan P_2 yang dibuat dengan jarak tertentu seperti pada (gambar 2.2), maka potensial yang berada di dekat titik elektroda tersebut bisa dipengaruhi oleh kedua elektroda arus. Oleh karena itu potensial P_1 yang disebabkan arus di C_1 adalah:

$$V_1 = - \frac{A_1}{r_1} \quad (2.4)$$

Dimana,

$$A_1 = - \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.5)$$

Karena arus pada kedua elektroda adalah sama dan arahnya berlawanan, maka :

$$V_2 = - \frac{A_2}{r_2} \quad (2.6)$$

$$A_2 = -A_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.7)$$

Jika didapatkan potensial total di P_1 dan P_2 maka :

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.8)$$

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.9)$$

Sehingga dapat diperoleh beda potensial antara P_1 dan P_2 yaitu

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.10)$$

Dimana,

ΔV = beda potensial P_1 dan P_2

ρ = Resistivitas (Ωm)

I = arus (A)

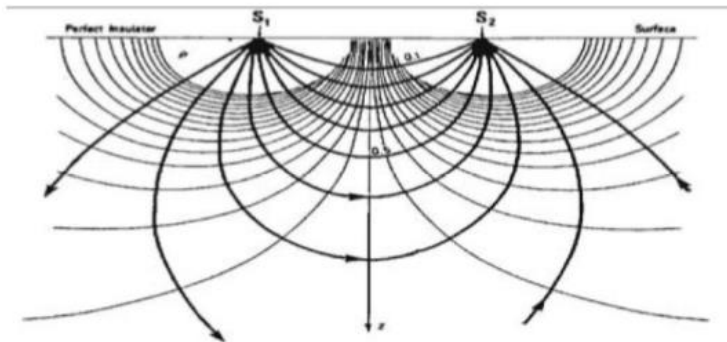
r_1 = jarak C_1 ke P_1 (m)

r_2 = jarak C_2 ke P_1 (m)

r_3 = jarak C_1 ke P_2 (m)

r_4 = jarak C_2 ke P_2 (m)

Susunan keempat elektroda tersebut merupakan susunan elektroda yang biasanya dalam metode geolistrik resistivitas. Pada konfigurasi ini garis-garis aliran arus dan ekuipotensial diubah oleh dekatnya kedua elektroda arus. Perubahan dari garis-garis ekuipotensial yang melingkar lebih jelas pada daerah antara dua elektroda arus sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.3.



Dimana,

$$K = \frac{2\pi}{\left\{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right\}} \quad (2.12)$$

Dengan K adalah faktor geometri yaitu besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus. Dengan mengukur ΔV dan I maka harga ρ_a dapat ditentukan.

Tabel 2. 2 Variasi resistivitas material bumi(Telford dkk., 1990)

Material	Resistivitas (Ωm)
Udara	~
Pirit	$0.01 - 10^2$
Kalkosit	$3 \times 10^{-3} - 0.6$
Kalkopirit	$1.2 \times 10^{-5} - 0.3$
Kuarsa	$5 \times 10^2 - 8 \times 10^5$
Kalsit	$10^{12} - 10^{13}$
Granit	$2 \times 10^2 - 10^5$
Andesit	$1.7 \times 10^2 - 45 \times 10^{14}$
Basalt	$2 \times 10^2 - 10^5$
Limestone	20 - 99
Sandstone	$2 \times 10^2 - 8 \times 10^3$
Dolomite	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Argilites	$10 - 8 \times 10^2$
Shales	$20 - 2 \times 10^3$
Pasir	$1 - 10^3$
Lempung	$1 - 10^2$
Air Tanah	$0.5 - 3 \times 10^2$
Air Asin	0.2
Magnetit	$0.01 - 10^3$
Alluvium	$10 - 8 \times 10^2$

2.4 Metode Geostatistika

Metode geofisika selalu berkembang untuk berbagai macam kepentingan investigasi lapisan atau struktur tanah. Salah satunya adalah untuk investigasi dekat permukaan. Investigasi dekat permukaan mengalami perkembangan yang sangat pesat karena banyak sekali dibutuhkan untuk kepentingan geoteknik.

Metode geostatistik pada umumnya digunakan untuk menganalisa karakteristik cebakan mineral yang biasanya menggunakan dua cara yakni statistik klasik dan statistik spasial. Penggunaan statistik klasik untuk

menyatakan sifat suatu nilai contoh mengambil asumsi bahwa nilai contoh mengambil asumsi bahwa nilai contoh merupakan realisasi peubah acak. Sebaliknya, statistik spasial digunakan jika nilai conto merupakan realisasi fungsi acak. Pada kenyataannya hanya ada sedikit situasi dimana statistik klasik dapat digunakan pada analisis pembentukan suatu endapan. Secara praktis, statistik klasik sebaiknya digunakan hanya pada eksplorasi tahap awal.

Dengan menggunakan dasar teori statistik spasial, ilmu geostatistik berkembang tidak hanya diaplikasikan untuk endapan cebakan mineral atau pertambangan saja. Untuk mengetahui sejauh mana hubungan spasial antara titik-titik suatu nilai, maka harus diketahui fungsi struktural yang dicerminkan oleh model semi variogramnya. Dengan menetapkan model semivariogramnya merupakan langkah awal dalam perhitungan geostatistik, disusul dengan perhitungan beberapa macam varian dan perhitungan lainnya yang akan dijelaskan dibawah ini(Wibowo, 2009).

2.4.1 Varian

Sebelum menginjak ke perhitungan varian, perlu diketahui tentang perhitungan untuk hubungan antara dua gugus data. Teknik tersebut adalah kovarian dimana X_i adalah nilai variabel yang dianggap sebagai X, Y_i nilai variabel yang dianggap sebagai Y, X_{avg} dan Y_{avg} adalan nilai rata-rata dari variabel X dan Y degan persamaan umum sebagai berikut

$$Covariance = \frac{\sum(X_i - X_{avg}) - (Y_i - Y_{avg})}{n - 1} \dots\dots\dots 2.13$$

Sementara itu, varian merupakan ukuran seberapa jauh sebuah kumpulan bilangan tersebar. Varian disebut juga sebagai simpangan baku. Nilai varian nol mengindikasikan bahwa semua nilai sama, nilai varian rendah mengindikasikan bahwa data sangat dekat dengan nilai rata-rata, dan varian tinggi mengindikasikan nilai tersebar di sekitar nilai rata-rata dan dari data satu dengan data lainnya.

Jika suatu fungsi X mempunyai rata-rata $\mu = E[X]$, varian dari X (Var(X)) dapta dihitung dengan persamaan berikut :

$$Var(X) = E[(X - \mu)^2] \dots\dots\dots 2.14$$

Jika fungsi X berasal dari data kontinu dengan *probability density function* $f(x)$, maka :

$$Var(X) = \int (X - \mu)^2 f(x) dx \dots\dots\dots 2.15$$

Dengan μ dicari menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\mu = \int xf(x)dx \dots \dots \dots 2.16$$

Jika fungsi berasal dari data diskrit dengan *probability mass function* ($X_1 \mapsto p_1 \dots, X_n \mapsto p_n$, maka :

$$Var(X) = \sum_{i=1}^n p_i (X_i - \mu)^2 \dots \dots \dots 2.17$$

Dan μ dicari menggunakan persamaan :

$$\mu = \sum_{i=1}^n (p_i - X_i) \dots \dots \dots 2.18$$

2.4.2 Variogram

Analisis variogram merupakan satu tahapan dalam geostatistik yang mendeskripsikan variasi dalam sebuah parameter sebagai sebuah fungsi jarak pisah. Analisa ini didasarkan pada suatu prinsip bahwa dua titik yang berdekatan akan lebih memiliki kemungkinan untuk mempunyai nilai parameter yang mirip dibandingkan dengan dua titik yang berjauhan. Secara umum, ada dua aspek penting dalam variogram, yaitu:

1. Seberapa mirip dua nilai antara dua titik yang berdekatan
2. Seberapa jauh jarak dua titik sebelum mereka dapat disimpulkan mereka tidak mempunyai hubungan satu sama lain.

2.4.2.1 Variogram eksperimental

Variogram eksperimental adalah variogram yang dihitung berdasarkan data yang ada. Hal ini dilakukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

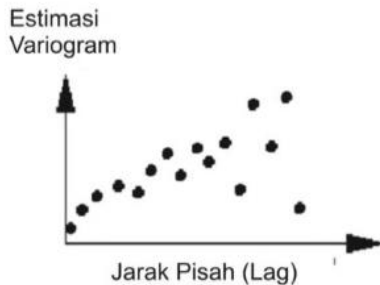
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [X_i + h) - Z(X_i)]^2 \dots \dots \dots 2.19$$

Dimana : $Z(X_i)$ adalah nilai data di titik X_i

$Z(X_i+h)$ adalah nilai data di titik X_i+h

$N(h)$ adalah banyaknya pasangan titik yang memiliki jarak h

Persamaan ini mendeskripsikan varians antara titik-titik data sebagai sebuah fungsi jarak antara titik-titik data (Lag) h. Perhitungan ini dilakukan untuk setiap jarak lag yang dikehendaki. Jika direpresentasikan dalam bentuk



Gambar 2. 4 Grafik variogram eksperimental(Wibowo, 2009)

grafik secara umum akan tergambar seperti pada gambar 2.4.

Lag didefinisikan sebagai sebuah rentang jarak yang diberikan oleh jarak minimum dan jarak maksimum. Jumlah titik-titik data dalam sebuah Lag memberikan nilai N dalam formula diatas. Varians sebuah lag adalah rata-rata varians semua titik data yang terpisahkan oleh lag ini. Variogram eksperimental dihitung untuk arah yang kita definisikan sebelumnya. Arah dari perhitungan variogram sangat menentukan sifat isotropi dan anisotropi data.

a. *Variogram teoritis*

Untuk keperluan analisis, variogram experimental ini harus diganti dengan variogram teoritis, yang kurvanya paling mendekati variogram eksperimentalnya. Dalam geostatistik, pencocokan antara variogram experimental dan teoritis disebut analisis struktur (structural analysis). Berikut merupakan empat jenis model dan persamaan variogram teoritis yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Model bole (*spherical model*)

Persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

(a) Persamaan umum

$$\gamma(h) = \left((s - n) \left(1 - \exp \left(-\frac{h}{ra} \right) \right) \right) + n1_{(0,\infty)}(h) \dots \dots \dots 2.20$$

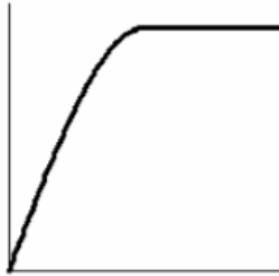
(b) Untuk $h \leq a$

$$\gamma(h) = \left((C_0 - C_1) \left(1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) \right) \dots \dots \dots 2.21$$

(c) Untuk $h \geq a$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \dots \dots \dots 2.22$$

(d) Grafik



Gambar 2. 5 Grafik Model Variogram Spherical(Wibowo, 2009)

- Model Gaussian

(a) Persamaan umumnya adalah :

$$\gamma(h) = (s - n) \left(1 - \exp \left(-\frac{h^2}{r^2 a} \right) \right) + n1_{(0,\infty)}(h) \dots \dots \dots 2.23$$

(b) Untuk $b = a/\sqrt{3}$

$$\gamma(h) = (C_0 + C_1) \left(1 - \exp \left(\frac{h^3}{b^3} \right) \right) \dots \dots \dots 2.24$$

(c) Grafik



Gambar 2. 6 Grafik Model Variogram Gaussian(Wibowo, 2009)

- Model eksponensial

(a) Persamaannya adalah:

$$\gamma(h) = (s - n) \left(\left(\frac{3h}{2r} - \frac{h^3}{2r^3} \right) 1_{(0,r)}(h) + 1_{(r,\infty)}(h) \right) + n 1_{(0,\infty)}(h) \dots \dots \dots 2.25$$

(b) Untuk $b \approx a/3$

$$\gamma(h) = (C_0 + C_1) \left(1 - \exp\left(-\frac{h}{b}\right) \right) \dots \dots \dots 2.26$$

(c) Grafik



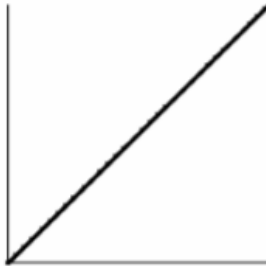
Gambar 2. 7 Grafik Model Variogram Eksponensial(Wibowo, 2009)

- Model Linear

(a) Persamaan umumnya adalah :

$$(h) = (C_0 + C_1) \left(1 - \left(\frac{h}{a} \right) \right) \dots \dots \dots 2.27$$

(b) Grafik

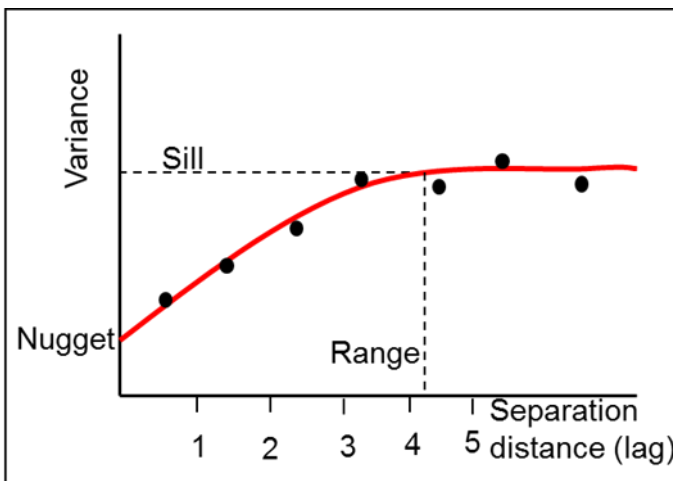


Gambar 2. 8 Grafik Model Variogram Linear(Wibowo, 2009)

Setelah proses pencocokkan ini, kita kan mendapatkan parameter yang dapat diekstrak dari model variogram tersebut, yaitu:

1. Varians : rata-rata perbedaan antara titik-titik yang berpasangan
2. Sill : varians terbesar di antara data
3. *Range* : Jarak yang ditunjukkan pada kondisi sill
4. Nugget : tingkat ketidakmiripan pada jarak nol(error eksperimental)

Gambaran dari parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2. 9 Komponen-komponen dalam variogram(Wibowo, 2009)

2.5 Kriging

Secara garis besar Kriging dapat dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu Linear Kriging dan Nonlinear Kriging. Linear Kriging mengacu pada teknik Kriging yang didasarkan pada asumsi bahwa nilai variabel pada suatu titik memiliki hubungan korelasi spasial secara linear dengan titik-titik yang ada di dekatnya. Nonlinear Kriging sebenarnya merupakan estimasi linear, namun dilakukan pada variabel yang telah ditransformasikan secara non linear menjadi suatu variabel baru, oleh sebab itu dinamakan Nonlinear Kriging. Linear Kriging terbagi menjadi empat metode, yaitu:

1. Simple Kriging Simple Kriging adalah prosedur estimasi Kriging yang paling simpel diantara yang lain. Prosedur ini memerlukan mean populasi, yang sangat mungkin tidak tersedia pada praktek di lapangan tanpa pra-asumsi. Karena itu, prosedur Simple Kriging ini tidak terlalu populer.
2. Ordinary Kriging Ordinary Kriging adalah prosedur Kriging yang paling populer. Prosedur ini mengeliminasi kebutuhan untuk mengetahui mean populasi. Prosedur ini juga lebih mudah mengadaptasi variasi lokal. Prosedur ini adalah prosedur Kriging yang paling banyak diaplikasikan.
3. Co-Kriging Jika kita ingin mengestimasi nilai suatu variabel tertentu dengan menggunakan variabel lain yang tersedia di sekitar lokasi titik itu, maka prosedur Co-Kriging dapat mengakomodasi hal ini. Misalnya, dengan data permeabilitas kita dapat mengestimasi nilai porositas di suatu titik.

Persamaan umum cokrigging adalah sebagai berikut :

$$Z_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i + \sum_{j=1}^n \beta_j t_j \dots \dots \dots 2.29$$

Dimana :

Z_0^* adalah estimator cokrigging

λ_i nilai *undetermined* dari sampel utama Z_i dan bervariasi dari 0 dan 100%

Z_i adalah variabel regional di lokasi yang ditentukan dengan satuan yang sama seperti variabel regional

t_j adalah variabel regional sekunder yang berhubungan dengan variabel primer di Z_i dengan satuan yang sama dengan variabel regional sekunder

β_j adalah berat yang tidak ditentukan untuk t_j dan bervariasi antara 0 dan 100%

4. Universal Kriging Universal Kriging digunakan ketika data yang kita miliki memiliki trend ke arah tertentu. Penentuan data yang memiliki trend akan dibahas pada bagian lain bab ini.

Nonlinear Kriging dibagi menjadi empat metode, yaitu:

1. Log_Normal Kriging Prosedur ini mentransformasi data asli dengan menggunakan log transform.
2. Multi Gaussian Kriging Prosedur Multi Gaussian mentransformasi data asli menjadi normal score transform
3. Indicator Kriging Prosedur ini mengubah data asli menjadi binary indicator values.
4. Probability Kriging Prosedur ini mengubah domain data asli menjadi rank index values.

Secara khusus Indicator Kriging yang akan digunakan dalam penelitian ini akan dibahas secara lebih mendetail dalam bagian berikut. Sedangkan Ordinary Kriging secara implisit telah dijelaskan pada bagian-bagian sebelumnya, karena prosedur umum yang dijelaskan pada bab ini merupakan prosedur Ordinary Kriging(Wibowo, 2009).

2.6 Two Point Simulation

Prinsip dasar metode *Two Point Simulation* (TPS) adalah menggunakan dua titik statistik berbasis variogram dan algoritma- algoritma lain yang memanfaatkan konsep statistik dengan banyak titik. Algoritma simulasi tradisional (2 titik) bertujuan untuk menghasilkan model kovarian $C(h)$ sebelumnya atau yang berhubungan dengan variogram yang secara statistik juga berhubungan dengan dua nilai, yaitu $z(u)$ dan $z(u+h)$. Salah satu metode Two Point Simulation adalah sebagai berikut

- a. LUISM (*Gaussian simulation with LU decomposition*)
- b. SGISM (*Sequential Gaussian simulation*)
- c. COSGIM (*Sequential Gaussian co-simulation*)
- d. DSSIM (*Direct sequential simulation*)
- e. SISIM (*Sequential indicator simulation*)
- f. COSISIM (*Sequential indicator co-simulation*)
- g. BSSIM (*Block sequential simulatio*)
- h. BESIM (*Block error simulation*)

Untuk persiapan data yang akan dilakukan simulasi ini adalah data harus berupa distribusi normal sebelum dilakukan simulasi ini. Sementara ide awal dari TPS ini salah satunya adalah *Sequential Gaussian simulation* atau lebih

dikenal sebagai SGISM ini menggunakan simulasi kriging. Data yang telah disimulasikan tersebut membuat covariance baru menggunakan nilai dari simulasi sebelumnya (Li dkk., 2015).

2.7 Batuan Karbonat

Batuan karbonat adalah batuan dengan kandungan material karbonat lebih dari 50 % yang tersusun atas partikel karbonat klastik yang tersemankan atau karbonat kristalin hasil presipitasi langsung. Bates & Jackson mendefinisikan batuan karbonat sebagai batuan yang komponen utamanya adalah mineral karbonat dengan berat keseluruhan lebih dari 50 %. Sedangkan batu gamping menurut definisi Reijers & Hsu adalah batuan yang mengandung kalsium karbonat hingga 95 %. Sehingga tidak semua batuan karbonat adalah batu gamping. Sementara itu, komponen penyusun batu gamping dibedakan atas nonskeletal grain, skeletal grain, matrix dan semen.

1. Non Skeletal Grain, terdiri dari

a. Ooid dan Pisoid

Ooid adalah butiran karbonat yang berbentuk bulat atau elips yang punya satu atau lebih struktur lamina yang konsentris dan mengelilingi inti. Inti penyusun biasanya partikel karbonat atau butiran kuarsa (Tucker, 1991). Ooid memiliki ukuran butir < 2 mm dan apabila memiliki ukuran > 2 mm maka disebut pisoid.

B. Peloid

Peloid adalah butiran karbonat yang berbentuk bulat, elipsoid atau meruncing yang tersusun oleh mikrit dan tanpa struktur internal. Ukuran peloid antara 0,1-0,5 mm. Kebanyakan peloid ini berasal dari kotoran (faecal origin) sehingga disebut pellet (E Tucker University of Durham Paul Wright dkk., 1992).

c. Agregat dan Intraklas

Agregat merupakan kumpulan dari beberapa macam butiran karbonat yang tersemankan bersama-sama oleh semen mikrokristalin atau tergabung akibat material organik. Sedangkan intraklas adalah fragmen dari sedimen yang sudah terlitifikasi atau setengah terlitifikasi yang terjadi akibat pelepasan air lumpur pada daerah pasang surut atau tidal flat (E Tucker University of Durham Paul Wright dkk., 1992).

2. Skeletal Grain

Skeletal grain adalah butiran cangkang penyusun batuan karbonat yang terdiri dari seluruh mikrofosil, butiran fosil, maupun pecahan dari fosil-fosil makro. Cangkang ini merupakan allochem yang paling umum dijumpai dalam batu gamping (Boggs, 1987). Komponen cangkang pada

batugamping juga merupakan penunjuk pada distribusi invertebrata penghasil karbonat sepanjang waktu geologi (Tucker, 1991).

3. Lumpur Karbonat atau Mikrit

Mikrit merupakan matriks yang biasanya berwarna gelap. Pada batugamping hadir sebagai butir yang sangat halus. Mikrit memiliki ukuran butir kurang dari 4 mikrometer. Pada studi mikroskop elektron menunjukkan bahwa mikrit tidak homogen dan menunjukkan adanya ukuran kasar sampai halus dengan batas antara kristal yang berbentuk planar, melengkung, bergerigi ataupun tidak teratur. Mikrit dapat mengalami alterasi dan dapat tergantikan oleh mozaik mikrospar yang kasar (Tucker, 1991).

4. Semen

Semen terdiri dari material halus yang menjadi pengikat antar butiran dan mengisi rongga pori yang diendapkan setelah fragmen dan matriks. Semen dapat berupa kalsit, silika, oksida besi ataupun sulfat.

2.8 Standard Penetration Test

Uji SPT (*Standard penetration test*) adalah uji yang dilakukan dengan cara pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah dan disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm (1 ft) vertikal. Dengan referensi di atas, dapat ditentukan jenis tanah mana yang dapat direkomendasikan untuk dapat dijadikan tanah dasar atau pondasi dari bangunan teknik yang akan dibangun. Oleh karena itu rekomendasi lokasi yang memiliki lapisan tanah yang layak untuk dibangun property di atasnya sangat penting. Secara spesifik dapat dilihat pada tabel di atas, jenis tanah dengan butiran pasir atau lebih kasar, merupakan tanah yang cocok untuk dijadikan tanah dasar atau pondasi.

Tabel 2. 3 Hubungan antara harga N dengan kepadatan relatif (LH, 1994)

Kepadatan Relatif	Harga N
Lempung dan Lanau	
Soft soil	<2
Rapuh	2-4
Medium	4-8
Agak Keras	8-15
Keras	15-30
Sangat Keras	>30

Halaman ini sengaja dikosongkan

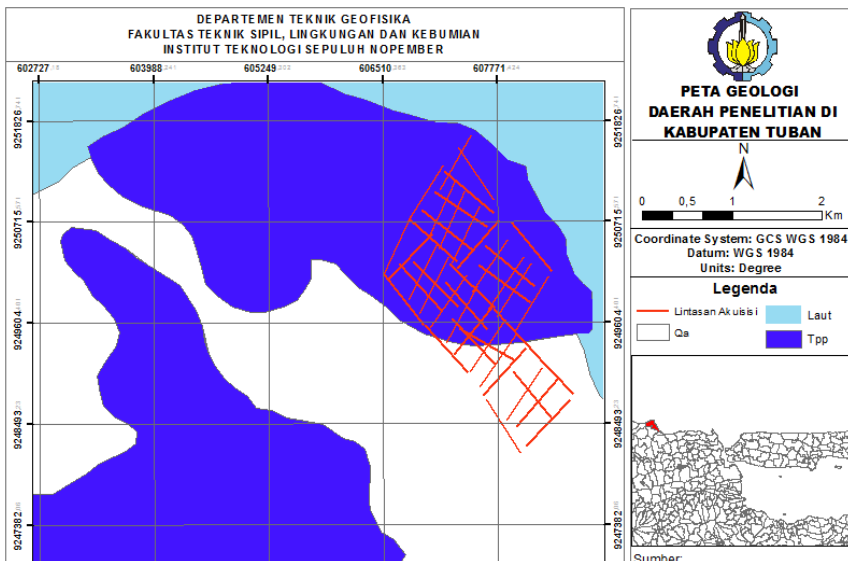
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Proses pengolahan data dalam penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari hingga Mei 2018 bertempat di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder pengukuran geolistrik dan *Soil Penetration Test* (N-SPT) pada daerah Kabupaten Tuban.

3.2 Data Penelitian

Pada penelitian ini digunakan data pengukuran geolistrik pada Kabupaten Tuban lebih tepatnya pada Kecamatan Jenu. Dengan jumlah lintasan sebanyak 43 desain akuisisi dan lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3. 1 Gambar desain akuisisi daerah penelitian

Dengan Keterangan

- Jumlah Lintasan : 43 line
- Panjang Lintasan : ± 705 m
- Jumlah Elektroda : 48
- Elektroda Interval : 15 m
- Target Kedalaman : ± 100 m
- Konfigurasi : Wenner Array

Selain data resistivitas 2D, terdapat juga beberapa data bor (N-Spt) sejumlah 7 titik yang berlokasi di daerah penelitian jenu tersebut, Data geolistrik dan SPT tersebut digunakan untuk mendapatkan pemodelan bawah permukaan secara 3D melalui beberapa proses pemodelan secara geostatistik. Selain itu, data yang diperlukan yaitu data geologi dan stratigrafi daerah tersebut

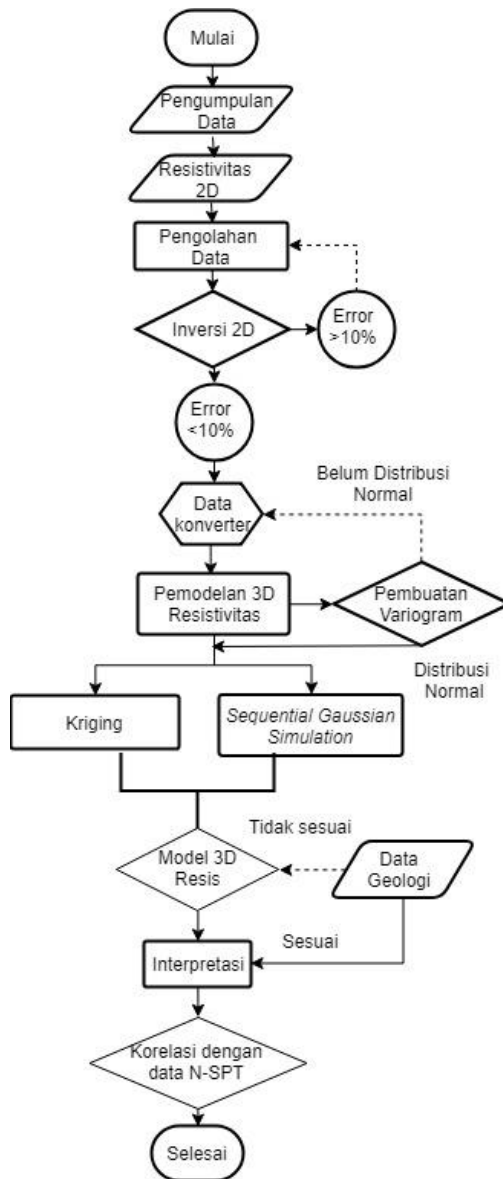
3.3 Alat dan Software

Pada penelitian ini membutuhkan beberapa alat dan juga pada proses pengolahan data diperlukan perangkat lunak yang memadai untuk memproses data yang diperoleh. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. Software *Zondres2d*
3. Software *Res2Dinv*
4. Software *Ms. Excel 2010*
5. Software *Google Earth*
6. Software *Arc Map 10.1*
7. Software *Petrel*
8. Software Matlab
9. Software Google Earth pro
10. Software Hampson Russel 10 (HRS 10)
11. Software Seisee

3.4 Tahapan Penelitian

Setelah diperoleh data, dilakukan proses pengolahan data yang meliputi beberapa tahapan dari awal studi literatur hingga mendapatkan hasil yang diharapkan. Tahapan-tahapan tersebut dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.2 dibawah ini.



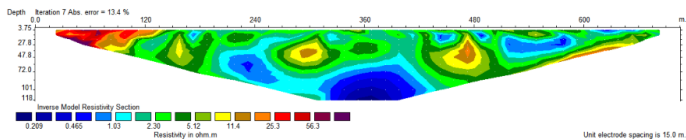
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.5 Pengolahan Data Resistivitas 2D

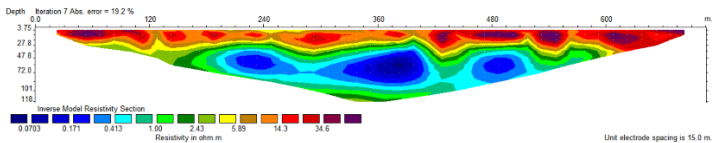
3.5.1 Hasil Inversi Penampang Resistivitas 2D

Untuk setiap pengambilan nilai resistivitas yang terukur melalui elektroda potensial akan didapatkan nilai resistivitas semu, Dari berbagai nilai resistivitas semu yang sudah didapatkan di lapangan, selanjutnya data lapangan diolah menjadi sebuah model bawah permukaan bumi secara dua dimensi. Pengolahan data lapangan secara dua dimensi dapat diolah dalam software *Res2Dinv* sehingga dihasilkan penampang resistivitas.

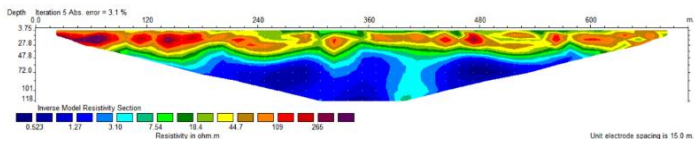
Terdapat 43 lintasan geolistrik yang menggunakan konfigurasi wenner dengan target kedalaman ± 100 m. Sebelum data dilakukan inversi, terlebih dahulu data di quality control dengan dengan software *Res2Dinv*. Berikut terdapat beberapa contoh hasil nversi sebagai berikut :



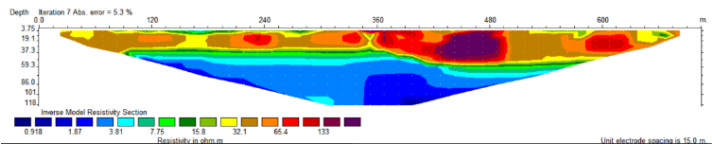
Gambar 3. 3 Penampang Resistivitas 2D Line 1



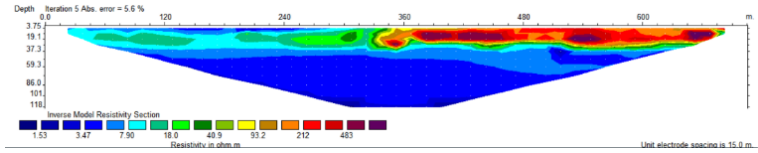
Gambar 3. 4 Penampang Resistivitas 2D line 2



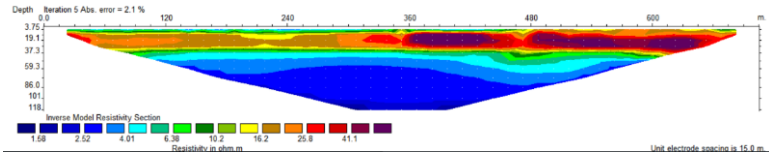
Gambar 3. 5 Penampang Resistivitas 2D line 4



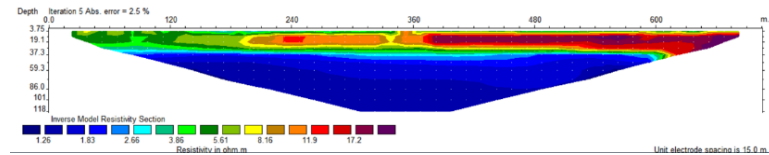
Gambar 3. 6 Penampang Resistivitas 2D line 10



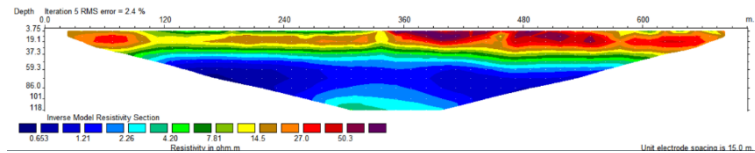
Gambar 3. 7 Penampang Resistivitas 2D line 15



Gambar 3. 8 Penampang Resistivitas 2D line 22



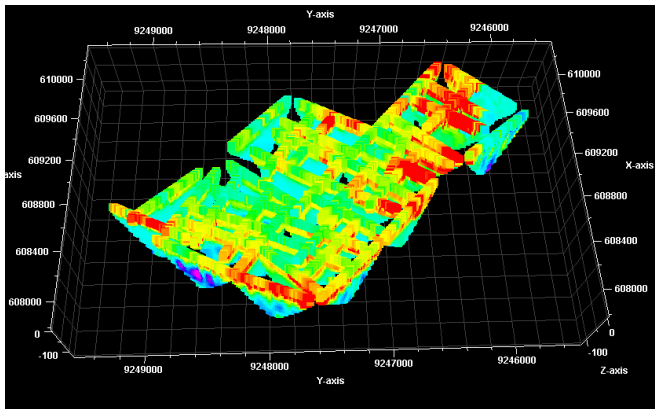
Gambar 3. 9 Penampang Resistivitas 2D Line 31



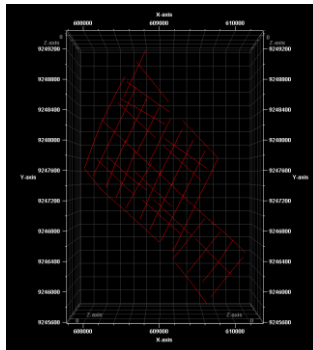
Gambar 3. 10 Penampang Resistivitas 2D Line 42

3.6 Model 3D

Dari hasil pengolahan menggunakan software *Res2dinv* maka didapatkan penampang nilai resistivitas yang kemudian ditempatkan sesuai titik koordinatnya maka seperti gambar 3.12. Setelah penampang sesuai titik koordinatnya penampang 2D ditampilkan sebagai *quality control* korelasi spasial dari tiap lintasan sesuai pada gambar 3.11. Pemodelan ini bertujuan untuk penggambaran lapisan bawah permukaan berdasarkan hasil inversi 2D yang telah dilakukan. Hal ini dapat dijadikan sebagai acuan dugaan atau analisa rekonstruksi geologi daerah penelitian. Pada penelitian ini digunakan metode geostatistika untuk memenuhi gambaran secara 3 dimensi.

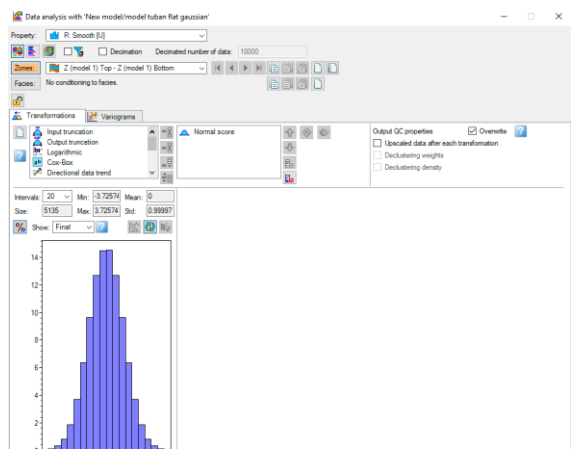


Gambar 3. 11 input data pada software petrel

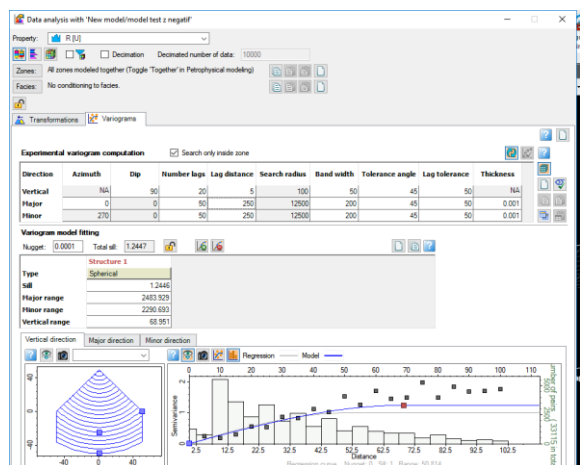


Gambar 3. 12 Gambar desain akuisisi pada petrel

Setelah data berhasil di input sesuai dengan koordinat per titik maka yang dilakukan adalah pengecekan distribusi data dari seluruh nilai resistivitas yang akan dilakukan simulasi geostatistik yang kemudian menghasilkan model 3D. maka dilakukan data analisis yang kemudian dilanjutkan pembuatan variogram yang tampak pada gambar 3.13 dan 3.14.



Gambar 3. 14 Hasil dari Data analisis



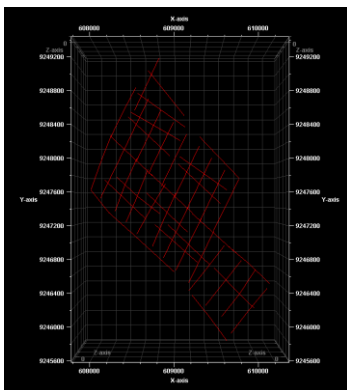
Gambar 3. 13 Gambar Pembuatan Variogram

Apabila data tergolong distribusi normal maka dapat dilakukan pembuatan variogram seperti diatas sebagai acuan untuk simulasi geostatistiknya. Kemudian setelah itu dilakukan aplikasi geostatistik yakni dengan metode kriging dan TPS. TPS yang digunakan kali ini dengan menggunakan algoritma *Sequential Gaussian Simulation*. Dengan Variogram yang sama maka dibentuk model 3D dengan metode kriging dan juga TPS. Kemudian dari perhitungan algoritma tersebut menghasilkan solid model 3 dimensi.

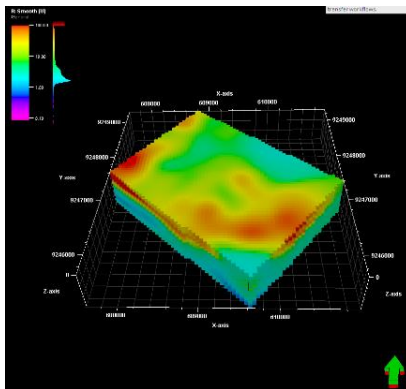
3.6.1 Kriging

Berikut merupakan hasil pemodelan 3D berdasarkan metode geostatiska kriging. Dengan variasi jumlah line maka didapatkan juga variasi model. Variasi jumlah lintasan yang digunakan adalah 43 lintasan yang dapat dilihat pada gambar 3.15, 21 lintasan yang dapat dilihat pada gambar 3.19 serta 11 lintasan yang dapat dilihat pada gambar 3.24 geolistrik. Dengan variasi tersebut dapat diketahui perbandingan spasial masing-masing line. Hasil pemodelan volumetrik dengan beberapa variasi dapat dilihat dari gambar 3.16, 3.17, 3.20, 3.26 dengan intersection dapat dilihat pada gambar 3.17, 3.21, 3.25 dengan overlay peta yang terlihat pada gambar 3.22. dan 3.23.

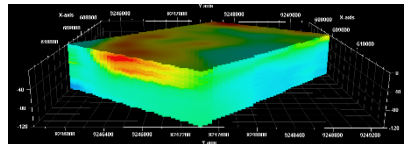
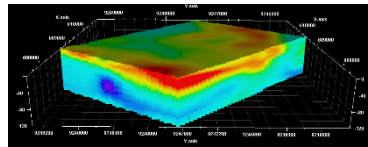
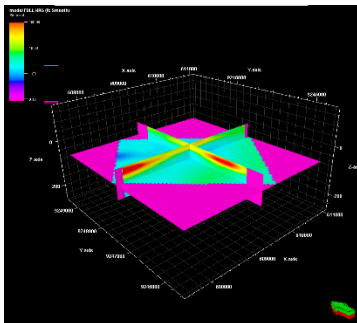
1. Model dengan 43 lintasan



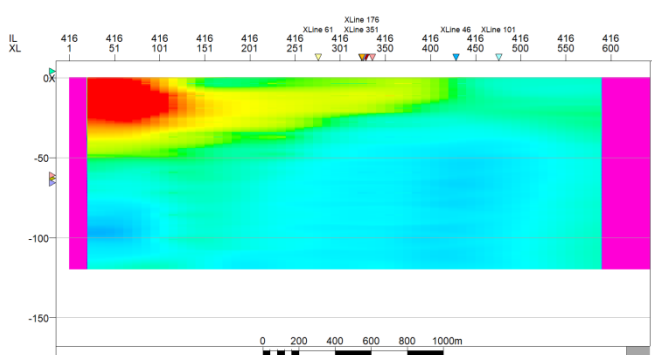
Gambar 3. 15 Gambar 43 lintasan



Gambar 3. 16 Model 3D 43 lintasan dengan metode kriging

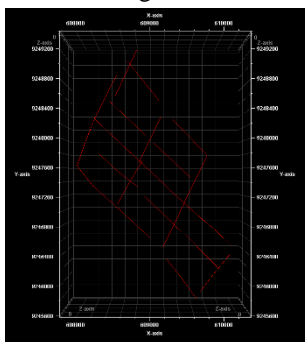


Gambar 3. 17 Gambar kiri merupakan hasil intersection , kemudian gambar kanan atas merupakan gambar model 3D dari barat dan bawahnya dari timur

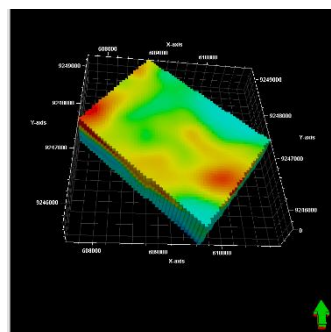


Gambar 3. 18 gambar salah satu intersection inline dari model 3D

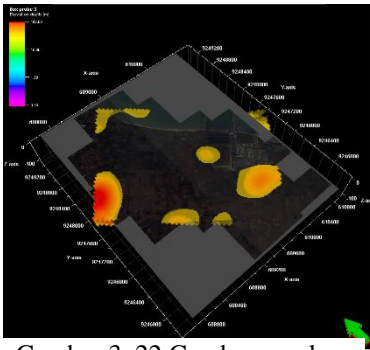
2. Model dengan 21 lintasan



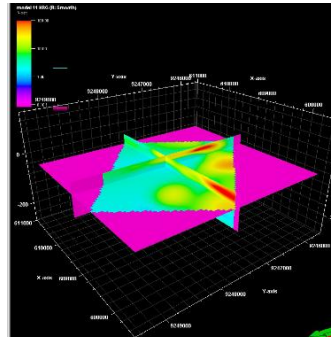
Gambar 3. 19 lintasan



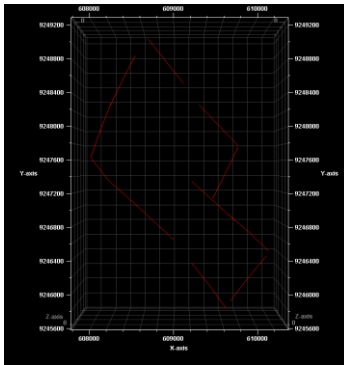
Gambar 3. 20 Gambar 3D



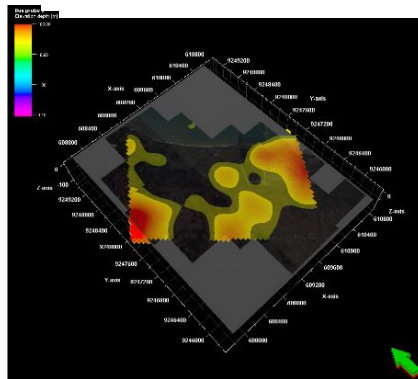
Gambar 3. 22 Gambar overlay dengan peta



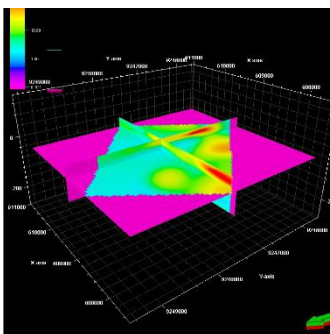
Gambar 3. 21 Gambar Intersection



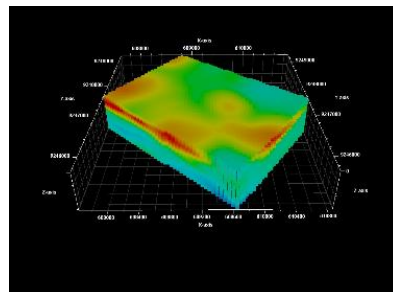
Gambar 3. 24 Gambar Lintasan



Gambar 3. 23 Gambar 3D overlay dengan peta



Gambar 3. 26 Gambar Intersection

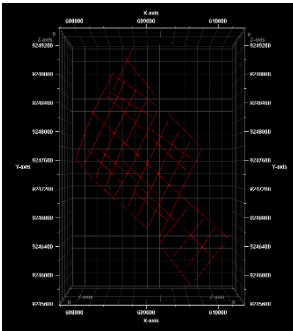


Gambar 3. 25 Gambar 3D

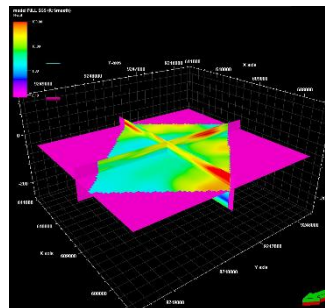
3.6.2 Sequential Gaussian Simulation

Berikut merupakan hasil pemodelan 3D berdasarkan metode geostatistika *Two Point Statistic* dengan algoritma *Sequential Gaussian Simulation*. Sama halnya dengan metode kriging dilakukan juga variasi yang sama jumlah line maka didapatkan juga variasi model. Variasi jumlah lintasan yang digunakan adalah 43 lintasan yang dapat dilihat pada gambar 3.28, 21 lintasan yang dapat dilihat pada gambar 3.33 serta 11 lintasan yang dapat dilihat pada gambar 3.37 geolistrik. Dengan variasi tersebut dapat diketahui perbandingan spasial masing-masing line. Hasil pemodelan volumetrik dengan beberapa variasi dapat dilihat dari gambar 3.29, 3.34, 3.39 dengan intersection dapat dilihat pada gambar 3.27, 3.35, 3.38.

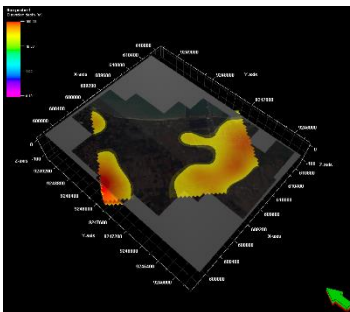
1. Model dengan 43 lintasan



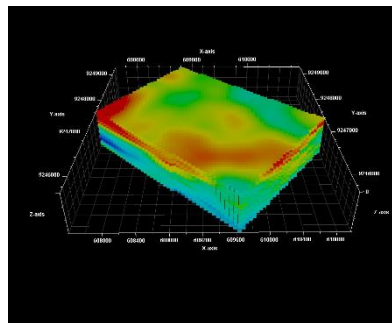
Gambar 3. 28 Gambar Lintasan



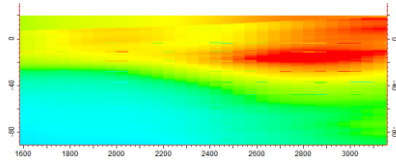
Gambar 3. 27 Gambar Intersection



Gambar 3. 30 Gambar Overlay

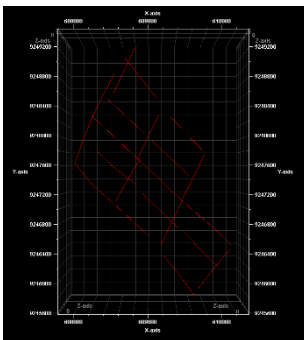


Gambar 3. 29 Gambar 3D

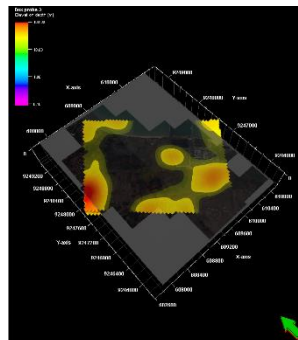


Gambar 3. 31 Gambar Inline dari salah satu intersection

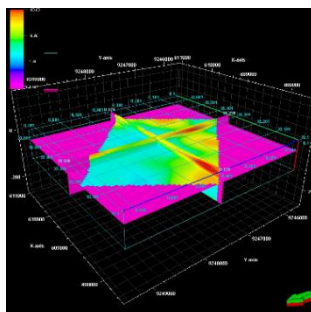
2. Model dengan 21 lintasan



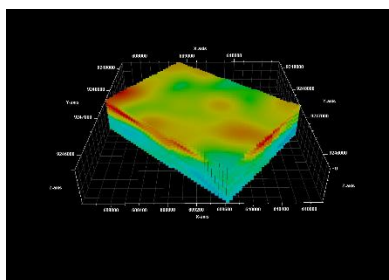
Gambar 3. 33 gambar Lintasan



Gambar 3. 32 Gambar overlay

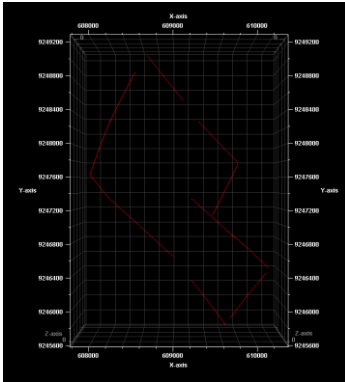


Gambar 3. 35 Gambar Intersection

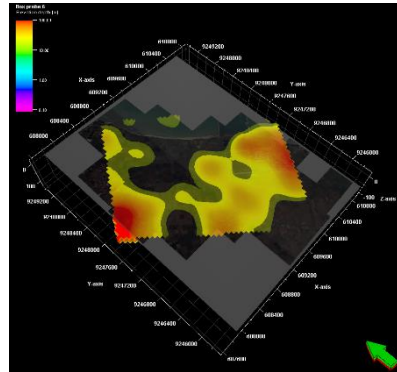


Gambar 3. 34 Gambar 3D

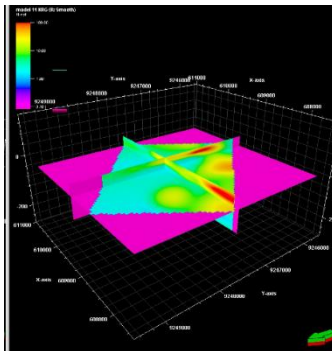
3. Model dengan 11 Lintasan



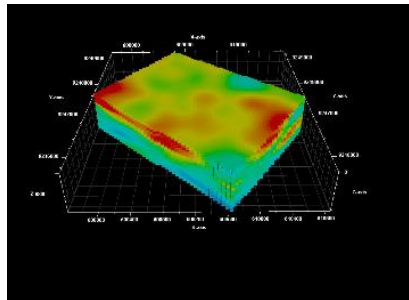
Gambar 3. 37 Gambar Lintasan



Gambar 3. 36 Gambar Overlay



Gambar 3. 39 Gambar Intersection



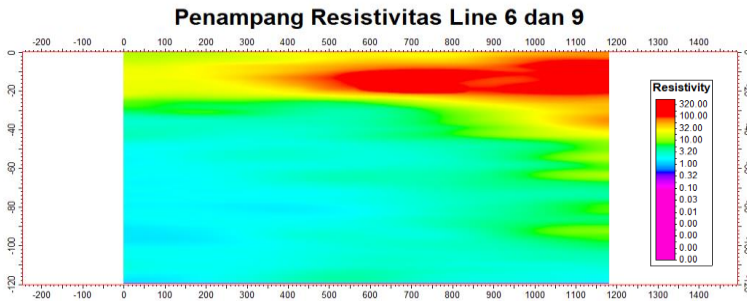
Gambar 3. 38 Gambar 3D

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil *Res2dinv*

Sebelum melakukan tahapan simulasi untuk mendapatkan model 3D, maka didapatkan hasil penampang 2D hasil dari inversi pada software *res2dinv*. Kemudian hasil inversi tersebut di konversikan sebagai *point attribute* yang akan dilakukan simulasi metode geostatistika. Gambar 4.1 merupakan hasil inversi 2D yang telah dikonversikan pada lintasan 6 dan 9 dengan tampilan pada software *petrel*.



Gambar 4. 1 Hasil 2D inversi pada software *res2dinv*

Berdasarkan hasil inversi yang kemudian di korelasikan dengan data geologi. Data geologi yang digunakan merupakan informasi peta geologi daerah penelitian yang merupakan formasi paciran dan alluvial yang dapat dilihat pada gambar 3.1. Dapat dilihat pada salah satu penampang 2D (gambar 4.1) pada lintasan 6 dan 9 ini menghasilkan 4 macam dugaan litologi dengan total kedalaman 120m. Berikut merupakan tabel interpretasi hasil inversi 2D.

Tabel 4. 1 Interpretasi litologi batuan dengan nilai jangkauan resistivitas

No	Jangkauan Resistivitas (Ohm-m)	Warna	Dugaan Litologi
1	>100	Merah	Dolomit
2	75-10	Hijau-kuning	Batu Gamping
3	3.2 -1	Biru Muda	Batu Pasir
4	<0.32	Biru tua-ungu	Batu Lempung

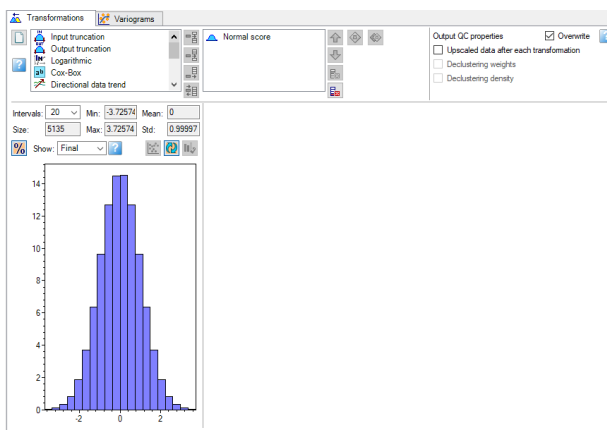
Terletak paling atas pada tabel 4.1, pada kedalaman 0 sampai 25 meter terdapat nilai resistivitas yang paling tinggi yakni 100 sampai >320 ohm m diinterpretasikan sebagai dolomit dan terdapat batu gamping disekeliling dolomit. Kemudian pada kedalaman 25 sampai 50 meter terdapat kombinasi

yakni sebelah kanan dapat diinterpretasikan sebagai susunan dari dolomit dan batu gamping kemudian dari meter 0 sampai 75 meter (horizontal) dapat diinterpretasikan sebagai batu pasir. Sementara itu, untuk kedalaman lebih dari 50 meter dapat diinterpretasikan sebagian besar merupakan batu pasir yang terdapat sisipan sisipan batu gamping dan batu lempung.

Nilai resistivitas yang dikaitkan dengan litologi batuan dapat diartikan luas. Artinya adalah sifat resistivitas batuan berbentuk jangkauan dan memiliki nilai yang tidak spesifik. Hal tersebut dikarenakan pada tiap batuan memiliki sifat fisis yang berbeda akibat proses geologi. Sehingga pendukung data geologi dan juga korelasi dengan N-SPT menjadi sangat penting dalam proses interpretasi ini. Oleh sebab itu, diperlukan korelasi model 3 dimensi dengan N-SPT sebagai validasi rentang nilai pada model yang telah dibuat.

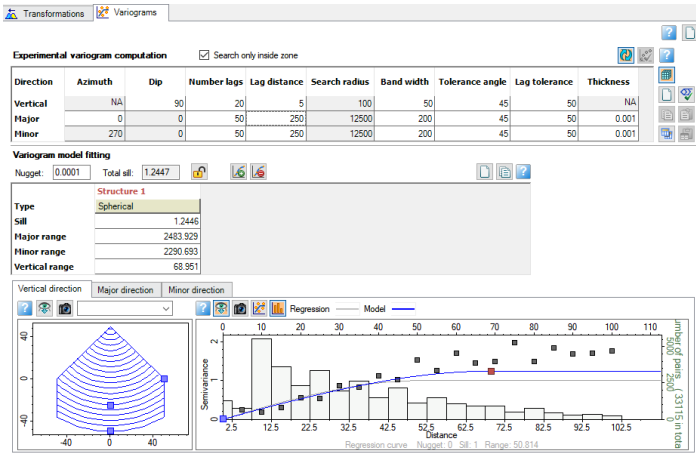
4.2 Analisa Data Model 3D

Dalam melakukan pemodelan secara geostatistika maka syarat distribusi data harus terpenuhi agar model tersebut memiliki nilai validitas yang tinggi. Dalam melakukan data analisis awal, dapat dilihat di bab 3 bahwasanya distribusi data nilai resistivitas ke 43 line resistivitas 2D telah memenuhi syarat yakni kriging yang pertama yakni distribusi normal seperti pada gambar 4.2. Yang kemudian distribusi nilai tersebut sebagai acuan untuk membuat variogram yang berfungsi sebagai acuan untuk dilakukan kriging dan juga metode yang satu lagi yakni *Two Point Statistic* dengan algoritma *Sequential Gaussian Simulation*.



Gambar 4. 2 Hasil data analisis resistivitas 2D

Setelah data dikonversikan menjadi *point attribute*, kemudian kumpulan nilai tersebut di analisa. Seperti pada gambar 4.2 data resistivitas 2D memiliki sifat distribusi normal. Hal ini tampak pada bentuk histogram yang merupakan bentuk histogram nilai normal (*normal score*). Syarat untuk melakukan kriging yang kemudian dilanjutkan simulasi Gaussian adalah data yang akan disimulasikan terdistribusi normal (*normal score*). Kemudian sifat persebaran data dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.

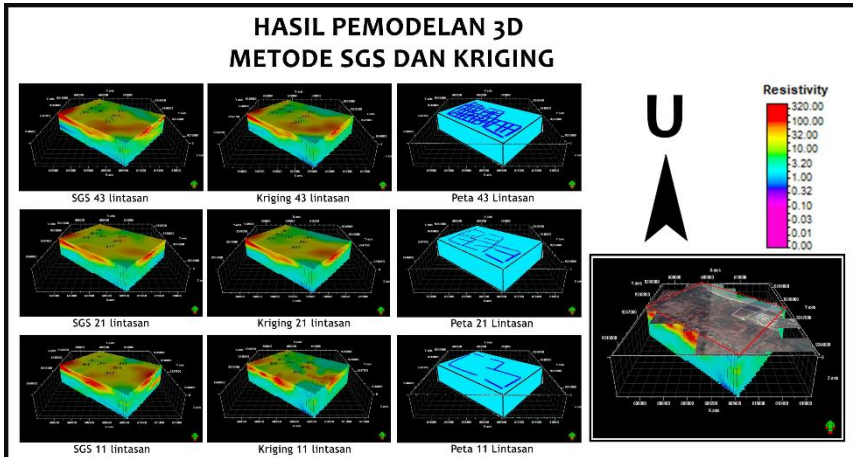


Gambar 4. 3 Parameter variogram untuk metode geostatistik

Analisis variogram merupakan satu tahapan dalam geostatistik yang mendeskripsikan variasi dalam sebuah parameter sebagai sebuah fungsi jarak pisah. Analisa ini didasarkan pada suatu prinsip bahwa dua titik yang berdekatan akan lebih memiliki kemungkinan untuk mempunyai nilai parameter yang mirip dibandingkan dengan dua titik yang berjauhan. Dengan persebaran data yang terlihat pada gambar 4.3 dapat diidentifikasi jenis variogram yang akan digunakan. Variogram yang digunakan menurut hasil persebaran data yang terlihat pada garis biru pada gambar 4.3 merupakan tipe variogram spherical. Dimana variogram tersebut memiliki tingkat continuity yang sedang.

Arah dari perhitungan variogram sangat menentukan sifat isotropi dan anisotropi data. Untuk variogram spherical merupakan jenis variogram yang umum untuk digunakan karena merupakan pengaturan umum untuk beberapa metode geostatistik. Parameter variogram yang digunakan pada dua metode geostatistika yakni kriging dan TPS sama, yakni menggunakan variogram

spherical. Tipe tersebut juga digunakan untuk simulasi beberapa variasi jumlah lintasan yang lain yakni 21 lintasan dan 11 lintasan. Setelah itu properti resistivitas yang telah dianalisis kemudian dilakukan simulasi kemudian menghasilkan model volumetric 3D seperti pada gambar 4.4.

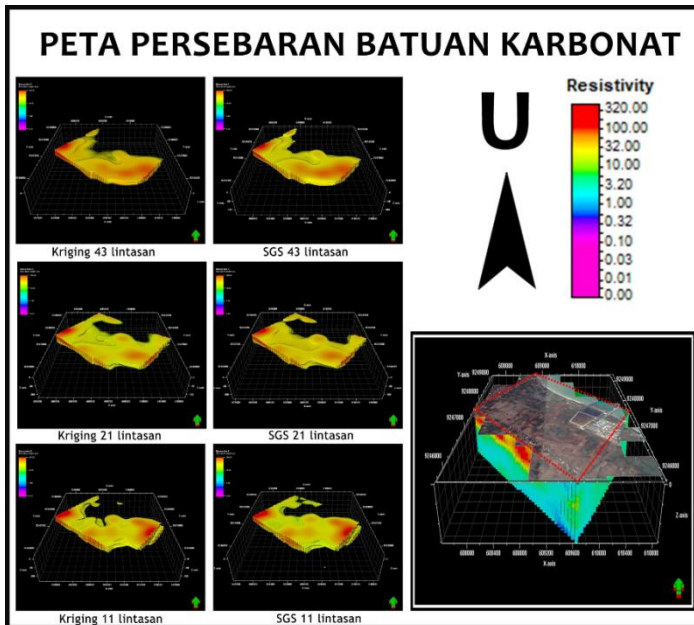


Gambar 4. 4 Hasil pemodelan 3D metode geostatistika tiap variasi jumlah lintasan

Pada interpretasi dalam sub bab 4.1, daerah penelitian ini memiliki 4 dugaan litologi yang berbeda. Namun yang dapat dilihat dari model yang dihasilkan dengan berbagai variasi pada gambar 4.4 tampak atas dari tiap variasi lintasan memiliki perbedaan bentuk persebaran nilai resistivitas. Pada variasi jumlah lintasan 43 dengan jarak antar lintasan kurang lebih 200 m, kedua metode geostatistik menghasilkan model yang cukup serupa.

Seperti halnya dengan hasil model jumlah lintasan 21 yang kedua metodenya menghasilkan model yang serupa. Namun, hasil model antara model dengan jumlah lintasan 43 cukup berbeda dengan model dengan jumlah lintasan 21. Berbeda halnya dengan model lintasan 11, kedua metode memiliki perbedaan persebaran nilai resistivitas dalam satu variasi. Dari hasil analisa model variasi jumlah lintasan 11 dilihat model hasil simulasi *Sequential Gaussian Simulation* (SGS) lebih dapat mendistribusikan nilai resistivitas sehingga model 11 lintasan SGS lebih serupa dengan model dengan jumlah lintasan 21.

Kemudian, setelah didapatkan model volumetric 3D seperti pada gambar 4.4 dilakukan delinasi nilai. Pada gambar 4.5 dilakukan deliniasi nilai resistivitas sehingga menghasilkan model volumetrik 3D persebaran nilai resistivitas tinggi. Tujuan dari pengeliminasian tersebut adalah agar mempermudah proses interpretasi geologi dari model yang dihasilkan. Pada gambar 4.5 merupakan hasil deliniasi pada tiap variasi jumlah lintasan.

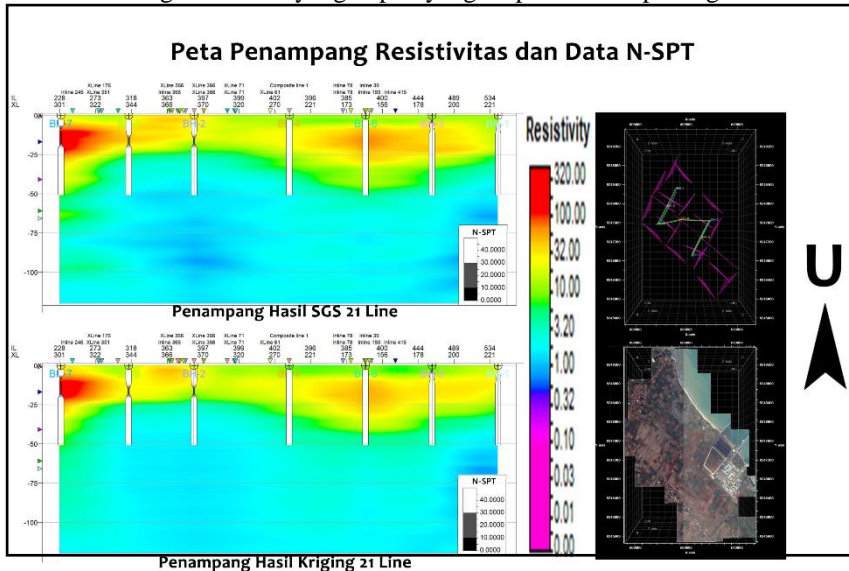


Gambar 4. 5 Peta persebaran nilai resistivitas tinggi tiap variasi

Berdasarkan interpretasi hasil pada sub bab 4.1 nilai resistivitas tinggi merupakan batuan karbonat yakni kombinasi antara batu gamping dan dolomit. Setelah dilakukan proses pemodelan 3D berdasarkan nilai resistivitas, hal yang kemudian dilakukan adalah dengan mengeliminasi nilai kecil dari model tersebut sehingga terbentuk model nilai resistivitas tinggi 3 dimensi. Berdasarkan model 3D yang dihasilkan dan juga analisa geologi yang telah terkorelasi maka dapat diinterpretasikan bahwasanya daerah penelitian tersebut memiliki bentukan persebaran karbonat seperti gambar 4.5.

Nilai resistivitas yang dikaitkan dengan litologi batuan dapat diartikan luas. Artinya adalah sifat resistivitas batuan berbentukjangkauan dan memiliki nilai

yang tidak spesifik. Hal tersebut dikarenakan pada tiap batuan memiliki sifat fisis yang berbeda akibat proses geologi. Sehingga pendukung data geologi dan juga korelasi dengan N-SPT menjadi sangat penting dalam proses interpretasi ini. Oleh sebab itu, diperlukan korelasi model 3 dimensi dengan N-SPT sebagai validasi rentang nilai pada model yang telah dibuat. Selain itu, korelasi antara sayatan 2D pada volumetrik hasil geostatistik dan N-SPT dapat menjadi validasi model geostatistik yang tepat yang dapat dilihat pada gambar 4.6.



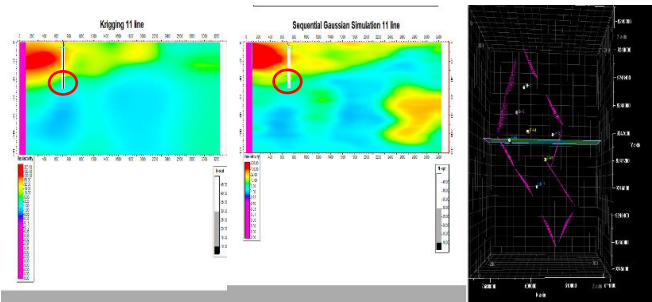
Gambar 4. 6 Hasil Korelasi model geostatistik dan N-SPT

Validasi model 3D dengan metode Krigging dan SGS dilakukan pada titik SPT BH-6 dan BH-7 dimana dapat dilihat pada BH-6 data SPT menunjukan nilai N yang cukup tinggi dari kedalam 3-50m yang berarti batuan pada titik BH-6 tergolong cukup keras. Hal ini cocok dengan nilai resistivitas pada model 3D metode Krigging dan SGS dengan asumsi nilai resistivitas tinggi disekitar titik BH-6 merupakan akibat keterdapatan batuan karbonat yang memiliki resistivitas yang relative tinggi gambar 4.6. Validasi model dengan titik SPT BH-7 menunjukan bahwa nilai resistivitas tinggi pada titik SPT BH-7 berasosiasi dengan tingginya resistivitas batuan dolomite-aragonite dan secara fisis batuan dolomite-aragonite cenderung memiliki berongga dan terisi udara yang memiliki resistivitas tinggi.

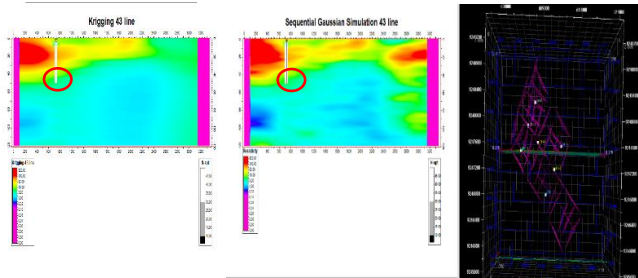
Selanjutnya adalah melakukan analisa jumlah line metode krigging dan SGS dengan validasi hasil SPT BH-6 dan BH-7 pada setiap variable yang

dilakukan. Pada SPT BH-6 nilai resistivitas hasil pemodelan secara statistik dengan menggunakan metode krigging dan SGS menunjukkan pola yang sama yaitu memiliki resistivitas yang tinggi, akan tetapi apabila dilakukan analisa secara detail dengan memperhatikan posisi batas antara resistivitas tinggi dan resistivitas rendah maka dapat dilihat bahwa metode SGS relative lebih cocok dengan data SPT 4.7. Selanjutnya posisi batas resistivitas tinggi dan posisi batas resistivitas rendah dapat dijadikan sebagai acuan kembali dalam analisa pengaruh jumlah line terhadap akurasi pemodelan 3D yang dihasilkan sehingga dapat dilihat bahwa model SGS lebih memiliki model yang akurat.

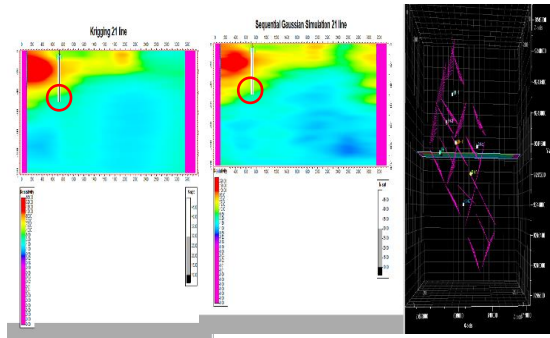
Pada SPT BH-6 nilai resistivitas hasil pemodelan secara statistic dengan menggunakan metode krigging dan SGS menunjukkan pola yang sama yaitu memiliki resistivitas tinggi dan pada zona dengan nilai N rendah memiliki resistivitas yang relative lebih tinggi dibandingkan resistivitas disekitarnya hal ini menunjukkan bahwa zona tersebut dapat diasumsikan sebagai zona batuan karbonat yang memiliki rongga udara dikarenakan resistivitas udara lebih tinggi dibandingkan dengan karbonat.



Gambar 4. 7 Korelasi SPT (BH 6) dengan section 11 lintasan

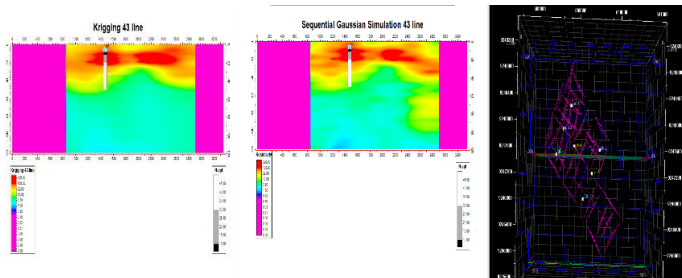


Gambar 4. 8 Korelasi SPT (BH 6) dengan section 43 lintasan

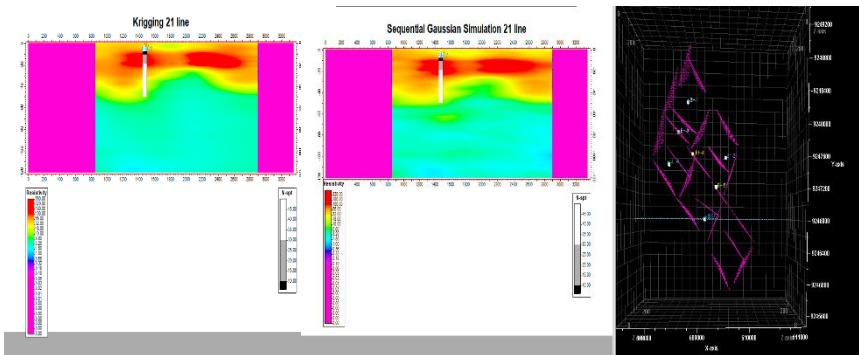


Gambar 4. 9 Korelasi SPT (BH 6) dengan section 21 lintasan

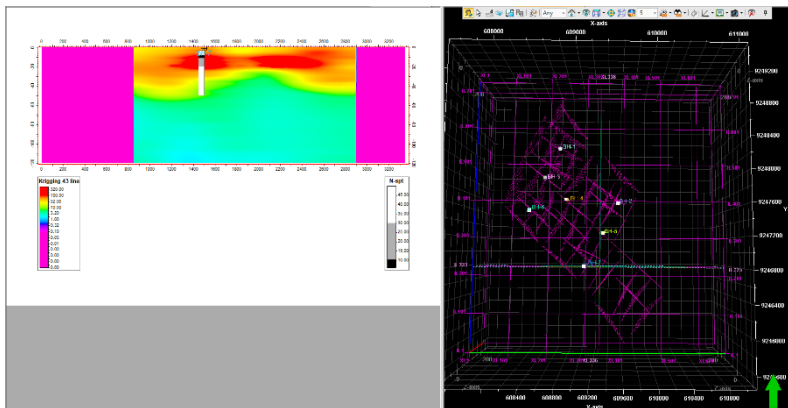
Selanjutnya dengan memperhatikan posisi zona nilai N rendah dan bidang batas resistivitas tinggi dan rendah maka dapat disimpulkan bahwa distribusi resistivitas tinggi pada metode SGS lebih cocok dengan data SPT BH-7, dan pada pengaruh variasi jumlah line dengan distribusi resistivitas menunjukan bahwa pada model 21 line (gambar 4.11) dan 43 (gambar 4.10) line tidak memiliki perbedaan secara umum pada zona nilai N rendah akan tetapi pada model 11 line (gambar 4.12) terdapat perbedaan yang cukup signifikan walaupun tetap berasosiasi pada resistivitas tinggi, sehingga pada jumlah line yang optimum dalam pemodelan geostatistik dengan validasi titik BH-7 adalah dengan jumlah 21(gambar 4.11).



Gambar 4. 10 Korelasi SPT (BH 7) dengan section 43 lintasan



Gambar 4. 12 Korelasi SPT (BH 7) dengan section 21 lintasan

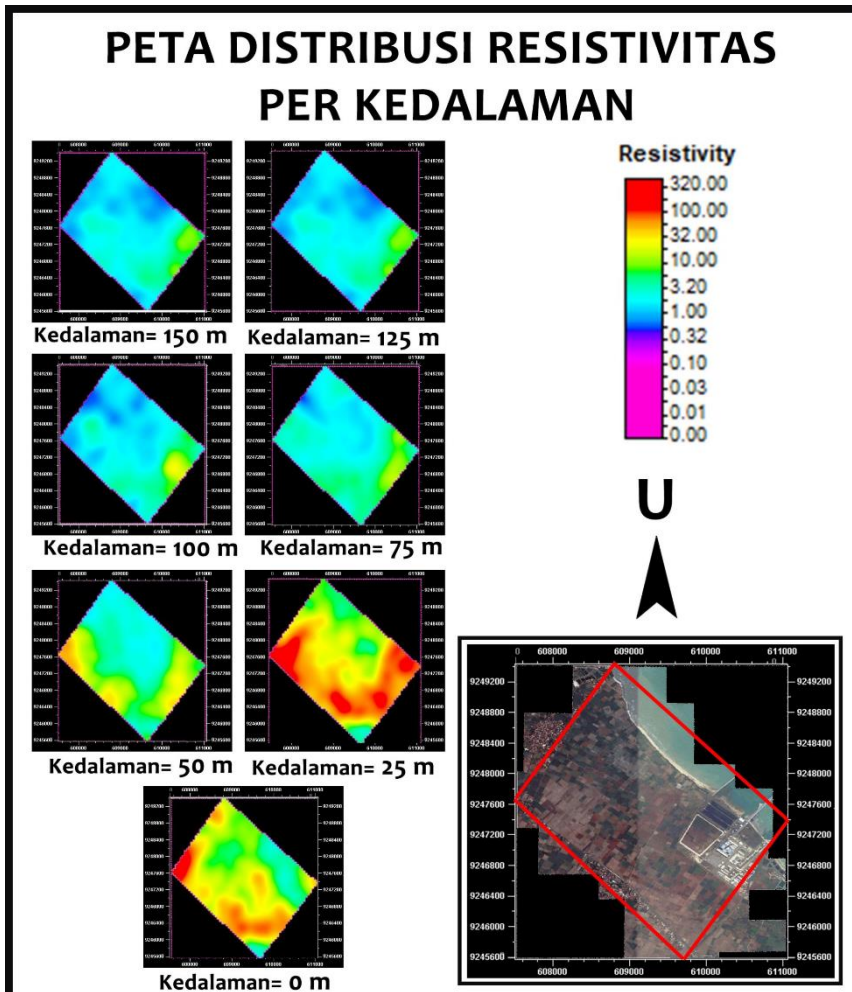


Gambar 4. 11 Korelasi SPT (BH 7) dengan section 11 lintasan

Dengan membandingkan titik spt BH-6 dan BH-7 maka dapat dilihat bahwa metode SGS dapat lebih baik dalam melakukan pemodelan 3D. Dan model 3D dengan jumlah line 21(gambar 4.9 dan 4.11) pun masih dapat dipertimbangkan dan dapat dipercaya karena tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan model 43 lintasan (gambar 4.8 dan gambar 4.10), akan tetapi model dengan jumlah line 11 (gambar 4.7 dan 4.12) memiliki perbedaan yang signifikan dengan model 21 lintasan dan model 43 line sehingga hal ini menyebabkan model 11 lintasan memiliki ketidakpastian yang relative lebih tinggi dibandingkan model 43 lintasan dan model 21 lintasan.

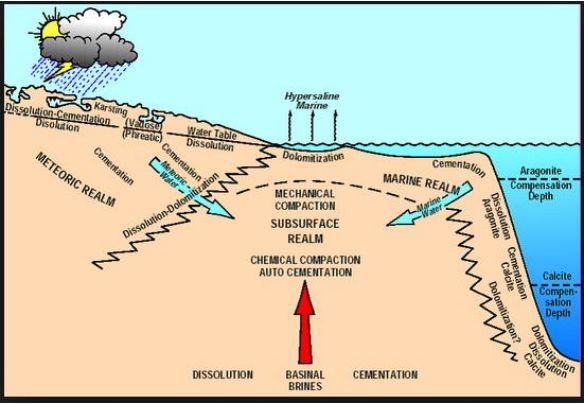
4.3 Analisa Model 3D dengan Geologi dan data SPT

Analisa model 3D dengan data geologi dapat membantu proses interpretasi dan fasies yang ada pada daerah penelitian. Begitu pula dengan fenomena geologi yang terjadi pada daerah tersebut. Dimana menjadi dasar perkembangan batuan karbonat di daerah penelitian tersebut.



Gambar 4. 13 Peta persebaran nilai resistivitas per kedalaman hasil model 3D

Gambar 4.13 memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan persebaran nilai resistivitas tinggi yang diduga sebagai batuan karbonat. Jangkauan warna merah merupakan jangkauan nilai dolomit, dimana berdasarkan gambar 4.13 menunjukkan bahwa tidak setiap kedalaman terdapat batuan tersebut. Begitu pula dengan jangkauan nilai resistivitas yang berwarna kuning yang dapat diinterpretasi sebagai batuan gamping juga menunjukkan pertumbuhan ke permukaan. Menurut gambar 4.13 Batuan karbonat tumbuh ke permukaan dengan arah utara (arah menuju pantai). Kemudian semakin keatas batu gamping mengalami proses dolomitisasi (gambar 4.14) sehingga semakin keatas batuan karbonat yang mendominasi adalah dolomit.



Gambar 4. 14 Proses dolomitisasi pada pantai

Namun, pada kedalaman 0 m gambar 4.13 menunjukkan semakin samarnya warna merah, dimana warna kuning semakin mendominasi dan terkesan menutupi. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan karbonat pada daerah tersebut semakin lambat.



Gambar 4. 15 Kondisi daerah akuisisi

Dapat dilihat pada gambar 4.15 yang merupakan kondisi daerah akuisisi terlihat terdapat munculan batu terumbu yang tidak tersebar merata. Terdapat terumbu-terumbu kecil yang tersingkap kecil dan berjarak. Selain itu, singkapan yang muncul pada daerah akuisisi menampakkan adanya void-void kecil. Daerah akuisisi menurut peta geologi yang ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagian besar merupakan formasi paciran (TPP) dimana batuan penyusunnya terdiri atas batugamping, batugamping dolomitan dan dolomit. Berwarna putih, kelabu, coklat dan kemerahan, organik dengan fragmen alga, koral, foraminifera besar dan moluska. Kerakal lempungan berwarna coklat, mungkin mengandung fosfat, terdapat dibagian bawah. Dengan mengkombinasikan hasil dari pemodelan volumetrik persebaran nilai resistivitas 3D dan data geologi dan dilengkapi dengan kondisi lapangan maka dapat diinterpretasi bahwa karbonat yang terdapat pada daerah penelitian merupakan karbonat dengan jenis reefal (terumbu).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan di 43 titik pengukuran Geolistrik di Tuban dapat disimpulkan bahwa

1. Metode pemodelan geostatistik 3D berdasarkan data resistivitas 2D menghasilkan metode TPS lebih baik dibandingkan metode Kriging dari hasil sayatan model 3D yang dikorelasikan dengan bor N-SPT
2. Model persebaran karbonat mengindikasikan bahwa lingkungan penelitian ini memiliki jenis karbonat reefal

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis data penulis menyarankan pada penelitian selanjutnya melakukan simulasi multi point dimana dapat memodelkan tiap fasies dengan kombinasi data geologi. Namun sebelum itu, diperlukan survey geologi dan analisa struktur. Selain itu dapat melakukan analisa morfologi menggunakan citra satelit agar mendapatkan model konseptual geologi yang lebih akurat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

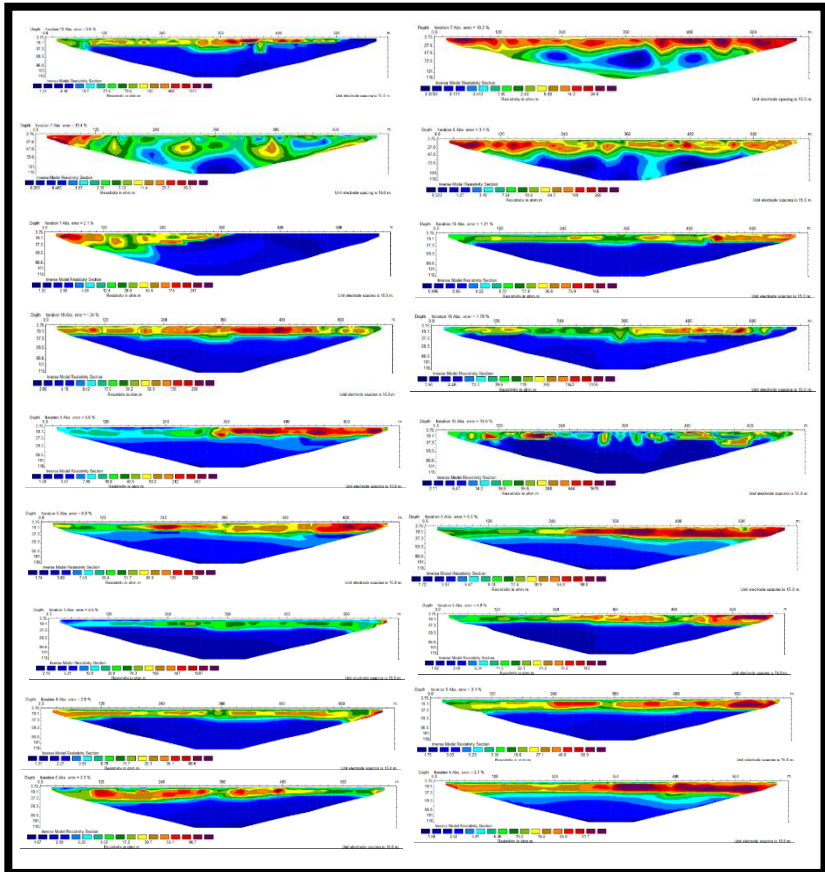
DAFTAR PUSTAKA

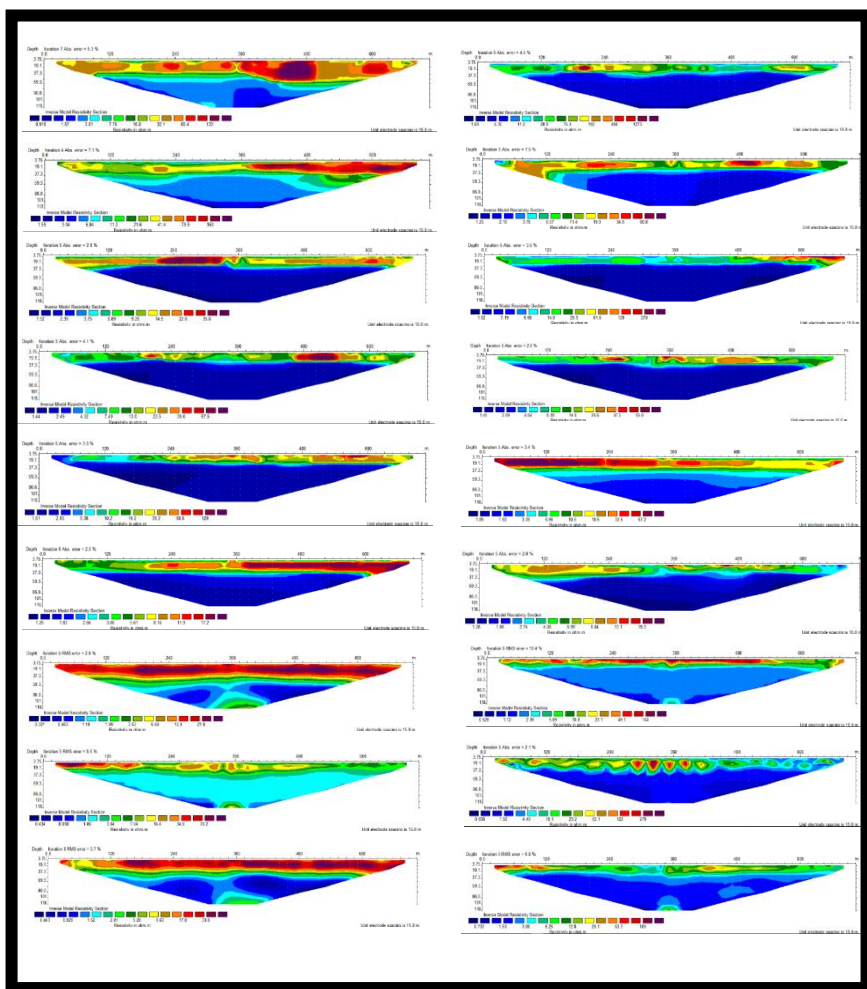
- Bahri, A.S., Widodo, A., Utama, W., Warnana, D.D., Aripin, P.R., Banuboro, A. dan Abdillah, R.A. (2017), "3D Resistivity Data Modelling to Identify Aquifer Geometry - Field Study PDAM Groundwater Conservation Pandaan", *Regional Conference in Civil Engineering (RCCE)*, hal. 166–174.
- Guo, E.Y., Chawla, N., Jing, T., Torquato, S. dan Jiao, Y. (2014), "Accurate modeling and reconstruction of three-dimensional percolating filamentary microstructures from two-dimensional micrographs via dilation-erosion method", *Materials Characterization*, Vol.89, hal. 33–42. <http://doi.org/10.1016/j.matchar.2013.12.011>.
- Hartono dan Suharsono (1997), *Peta geologi lembar Tuban, Jawa Timur* Pusat Penelitian dan Perkembangan Geologi, Bandung.
- John M. Reynolds (1997), *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*-Wiley John Wiley and Sons Ltd, Baffins, Chischester, West Sussex PO19 1UD, England.
- LH, S. (1994), "Koleksi Buku 1994 Penuntun geoteknik dan mekanika tanah : penyelidikan lapangan & laboratorium / Shirley", *Bandung : Nova*, hal. 26671.
- Li, L., Srinivasan, S., Zhou, H. dan Jaime Gomez-Hernandez, J. (2015), "Two-point or multiple-point statistics? A comparison between the ensemble Kalman filtering and the ensemble pattern matching inverse methods", *Advances in Water Resources*, Vol.86, hal. 297–310. <http://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.05.014>.
- Loke, M.H. (2011), "Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys", *Geotomo Software Malaysia*, No.July, hal. 127. Diambil dari <http://seisweb.oma.be/bibadmin/uploads/pdf/COURSENOTES.pdf>.
- Majid, D. dan Muljo, B. (2017), *Pemetaan Potensi Batuan Kapur Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 di Kabupaten Tuban*, Vol.6, No.2, hal. 1–5.
- Rutley, D.W. (2001), "Quantitative seismic reservoir characterisation: A model-based approach for the Sampang PSC, East Java, Indonesia", *Exploration Geophysics*, Vol.32, No.4, hal. 275–278. <http://doi.org/10.1071/EG01275>.

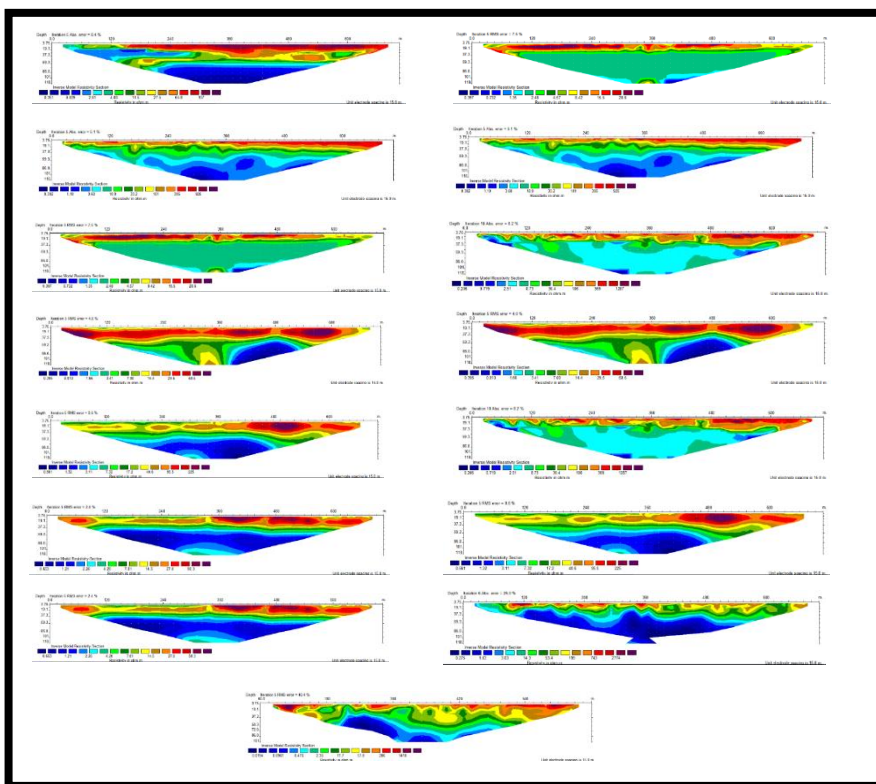
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990), "Applied Geophysics" *Book*. <http://doi.org/10.1180/minmag.1982.046.341.32>.
- Ward, S.H. (1990), "Resistivity and Induced Polarization Methods", *SEG Investigation on Geophysics #5 Geotechnical and Enviromental*, Eds.: SEG, SEG Investigation on Geophysics #5 Geotechnical and Enviromental, <http://doi.org/147>. DCIP:2.1.
- Wibowo, H. (2009), "MODEL BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK DAN BOR; STUDI KASUS PENELITIAN Untuk, Lapangan Pltu, Pembangunan Paiton, D I", *itb*,.
- E Tucker University o Durham Paul Wright, M., Munksgaard, B. dan E, M. (1992), "Carbonate Sedimentology Library o! Congress Cataloging-in-Publication Data", *Iowa State Press*, Vol.21, hal. 50014–8300. <http://doi.org/10.1002/9781444314175>.

LAMPIRAN

Hasil pengolahan inversi 2D *Res2dinv* 43 lintasan







Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA DIRI



Lahir di Kota Mojokerto pada Tanggal 5 Juni 1996, dengan nama Fahrenzy Yona Aisha. Pendidikan formal penulis dimulai di TK Darul Huda dilanjutkan ke SD Negeri Wates 6 pada tahun 2002. Selanjutnya pendidikan diteruskan ke jenjang Sekolah Menengah di SMP Negeri 1 Mojokerto pada tahun 2008. Pada tahun 2014 penulis masuk ke SMA Negeri 2 Mojokerto pada tahun 2011. Tahun 2014 penulis resmi menjadi mahasiswa Teknik Geofisika 2014 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS banyak pengalaman yang telah penulis dapatkan, baik softskill maupun hardskill. Tahun periode 2015/2016 penulis diamanahi sebagai sekretaris pada lembaga legislatif atau *Student Representative Council* (SRC) untuk Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG). Sementara pada tahun periode 2016 - 2017 penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) ITS, sebagai Ketua Divisi Kaderisasi pada Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM). Selain itu, sebagai staff BEM ITS bagian Kebijakan Publik divisi Kajian Strategis periode 2015/2016. Selain aktif dalam organisasi, penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan yaitu sebagai pemateri dan pemandu dalam pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa tingkat dasar (LKMM TD). Pada periode 2016-2017 penulis menjadi koordinator pemandu Departemen Geofisika ITS. Selain itu, penulis juga menjadi pengajar pada Kelas Inspirasi Kebumian 2017 di Jombang. Pada tahun 2016 penulis aktif dalam pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa hingga tingkat Menengah dalam lingkup kampus ITS. Pengalaman lain yang penulis dapatkan selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS yaitu pernah mengikuti pelatihan *Petrophysic Training* pada tahun 2016 kemudian menjadi asisten praktikum pada mata kuliah eksplorasi geolistrik. Selain itu, penulis telah memenangkan *Best Poster* dalam *European Association Geoscientist and Engineer* tahun 2018.

